



# MAKERS AT SCHOOL

L'APPRENDIMENTO  
NELL'ERA POST-DIGITALE

**FRANCESCA GRATANI**

MEDIA  
E

TECNOLOGIE

PER  
LA  
DIDATTICA

**FrancoAngeli**

OPEN  ACCESS

## Media e tecnologie per la didattica

Collana diretta da Chiara Panciroli, Pier Cesare Rivoltella, Pier Giuseppe Rossi

La collana si rivolge a quanti, operando nei settori dell'educazione e della formazione, sono interessati a una riflessione profonda sulla relazione tra conoscenza, azione e tecnologie. Queste modificano la concezione del mondo e gli artefatti tecnologici si collocano in modo "ambiguo" tra la persona e l'ambiente; in alcuni casi sono esterne alla persona, in altri sono quasi parte della persona, come a formare un corpo esteso.

La didattica e le tecnologie sono legate a doppio filo. Le tecnologie dell'educazione non sono un settore specialistico, ma un filo rosso che attraversa la didattica stessa. E questo da differenti prospettive. Le tecnologie e i media modificano modalità operative e culturali della società; influiscono sulle concettualizzazioni e sugli stili di studio e di conoscenza di studenti e adulti. I processi di mediazione nella didattica prendono forma grazie agli artefatti tecnologici che a un tempo strutturano e sono strutturati dai processi didattici.

Le nuove tecnologie modificano e rivoluzionano la relazione tra formale informale.

Partendo da tali presupposti la collana intende indagare vari versanti.

Il primo è quello del legame tra media, linguaggi, conoscenza e didattica. La ricerca dovrà esplorare, con un approccio sia teorico, sia sperimentale, come la presenza dei media intervenga sulle strutture del pensiero e come le pratiche didattiche interagiscano con i dispositivi sottesi, analizzando il legame con la professionalità docente, da un lato, e con nuove modalità di apprendimento dall'altro.

Il secondo versante è relativo al ruolo degli artefatti tecnologici nella mediazione didattica. Analizzerà l'impatto delle Tecnologie dell'educazione nella progettazione, nell'insegnamento, nella documentazione e nelle pratiche organizzative della scuola.

Lo spettro è molto ampio e non limitato alle nuove tecnologie; ampio spazio avranno, comunque, l'e-learning, il digitale in classe, il web 2.0, l'IA.

Il terzo versante intende indagare l'ambito tradizionalmente indicato con il termine Media Education. Esso riguarda l'integrazione dei media nel curriculum nella duplice dimensione dell'analisi critica e della produzione creativa e si allarga a comprendere i temi della cittadinanza digitale, dell'etica dei media, del consumo responsabile, nonché la declinazione del rapporto tra i media e il processo educativo/formativo nell'extra-scuola, nella prevenzione, nel lavoro sociale, nelle organizzazioni.

Per l'esplorazione dei tre versanti si darà voce non solo ad autori italiani, ma saranno anche proposti al pubblico italiano alcune significative produzioni della pubblicistica internazionale. Inoltre la collana sarà attenta ai territori di confine tra differenti discipline. Non solo, quindi, la pedagogia e la didattica, ma anche il mondo delle neuroscienze, delle scienze cognitive e dell'ingegneria dell'informazione.

## Comitato scientifico

Evelyne Bévort, CLEMI Paris,

Antonio Calvani, Università di Firenze

Ulla Carlsson, Goteborg University

Renza Cerri, Università di Genova

Bill Cope, University of Illinois at Urbana-Champaign,

Juan de Pablo Pons, Universidad de Sevilla,

Floriana Falcinelli, Università di Perugia

Monica Fantin, Universitate General de Santa Caterina,

Riccardo Fragnito, Università telematica Pegaso

Paolo Frignani, Università di Ferrara

Luciano Galliani, Università di Padova

Paul James Gee, University of Arizona,

Walter Geerts, Universiteit Antwerpen,

Patrizia Maria Margherita Ghislandi, Università di Trento

Luigi Guerra, Università di Bologna

Mary Kalantzis, University of Illinois at Urbana-Champaign,

Diane Laurillard, University of London,

Roberto Maragliano, Università di Roma Tre

Eleonora Marino, Università di Palermo

Vittorio Midoro, ITD, Genova

Paolo Paolini, Politecnico di Milano

Vitor Reia-Baptista, Universitate de Algarve,

Maurizio Sibilio, Università di Salerno

Guglielmo Trentin, ITD, Genova



Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

**FrancoAngeli Open Access** è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

<https://www.francoangeli.it/autori/21>

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: [www.francoangeli.it](http://www.francoangeli.it) e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

# MAKERS AT SCHOOL

L'APPRENDIMENTO  
NELL'ERA POST-DIGITALE

FRANCESCA GRATANI

MEDIA  
E

TECNOLOGIE

PER  
LA  
DIDATTICA

**FrancoAngeli**

OPEN  ACCESS

Copyright © 2023 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy. ISBN 9788835153641

Il volume è stato pubblicato con il contributo del Dipartimento di Scienze della formazione, dei Beni culturali e del Turismo dell'Università degli Studi di Macerata.

Isbn digitale: 9788835153641

Copyright © 2023 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Pubblicato con licenza *Creative Commons Attribuzione-Non Commerciale-Non opere derivate 4.0 Internazionale* (CC-BY-NC-ND 4.0)

*L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito*

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

# Indice

<b>Introduzione</b>	pag.	7
<b>1. La cornice teorica</b>	»	11
1.1 Apprendere nel XXI secolo: sfide e scenari emergenti	»	11
1.2 Il post-digitale	»	14
1.3 L'apprendimento creativo nel post-digitale	»	17
1.4 La <i>Maker Culture</i>	»	26
<b>2. La <i>Maker Education</i></b>	»	30
2.1 Dal movimento all'approccio educativo	»	30
2.2 L'educazione STE(A)M	»	34
2.3 I <i>makerspace</i>	»	38
2.4 <i>Low-tech e high-tech making</i>	»	46
2.5 La robotica educativa	»	49
2.5.1 La robotica educativa a scuola	»	51
2.5.2 Potenzialità e sfide	»	54
2.6 La fabbricazione digitale	»	62
2.6.1 La fabbricazione digitale a scuola	»	64
2.6.2 Potenzialità e sfide	»	68
2.7 La realtà virtuale e la realtà aumentata	»	70
2.7.1 Potenzialità e sfide	»	74
<b>3. <i>Makers at school: esempi di pratiche per introdurre l'approccio Maker a scuola</i></b>	»	82
3.1 Sintesi delle esperienze	»	86
3.1.1 Primi anni di scuola primaria [4, 7]	»	87
3.1.2 Ultimi anni di scuola primaria [3, 1, 8]	»	88
3.1.3 Intera fascia di istruzione primaria [6, 5, 2]	»	92

3.2 Ricadute e sfide	»	95
3.2.1 Motivazione, <i>agency</i> , <i>self-efficacy</i> , competenze del XXI secolo [3, 7, 1, 8, 2]	»	95
3.2.2 Scrittura, arte e <i>storytelling</i> [4, 5, 6]	»	101
3.3 Considerazioni finali	»	102
<b>4. Il Progetto di ricerca</b>	»	104
4.1 Scopo e domande di ricerca	»	104
4.2 Contesto e partecipanti	»	105
4.3 Metodologia e strumenti valutativi	»	109
4.4 Sintesi delle attività	»	113
4.4.1 Parte I	»	114
4.4.2 Parte II	»	120
4.5 Risultati e considerazioni finali	»	126
<b>5. Valutare nei contesti maker</b>	»	133
5.1 Verso un nuovo paradigma valutativo	»	133
5.2 Alcune proposte dalla letteratura	»	139
<b>Conclusioni</b>	»	149
<b>Riferimenti bibliografici</b>	»	157

# Introduzione

I rapidi progressi tecnologici generano indubbiamente nuove opportunità in campo sociale e educativo, ma aprono al contempo a nuove sfide nel modo di interpretare, comprendere e affrontare la vita quotidiana. La complessità, il digitale e l'ubiquità sono ormai divenuti paradigmi costitutivi e interpretativi dell'attuale cultura, delineando innumerevoli traiettorie di sviluppo che alimentano fortemente la ricerca in ambito educativo.

La condizione post-digitale si configura come una delle grandi sfide da affrontare in campo scientifico, educativo, artistico e in altre varie aree di interesse umano (Jandrić *et al.*, 2018). Nell'educazione post-digitale, la distinzione tra digitale e non digitale non è più essenziale nella progettazione e nell'implementazione delle pratiche didattiche (Fawns, 2019). Il digitale cessa di fungere da caratteristica distintiva e diviene semplicemente lo 'stato' o la condizione di *default* (Cramer & Jandrić, 2021). «La sfida postdigitale è intorno a noi» (Jandrić *et al.*, 2018, p. 896). Essa va oltre il determinismo tecnologico e sonda futuri alternativi, cercando nuove opportunità per una pedagogia critica (McLaren & Jandrić, 2014). La separazione rinascimentale tra lavoro manuale e intellettuale, tra processo ideativo e costruttivo, viene meno a favore di una cultura del fare. L'elemento innovativo della didattica post-digitale è rappresentato dalla connessione diretta tra il processo progettuale e quello produttivo in grado di introdurre un nuovo aspetto legato a tale didattica, definito come "*Critical Making*"<sup>1</sup> (Ratto, 2011).

L'economia digitale sta spingendo verso nuovi posti di lavoro connessi a tecnologie avanzate come la stampa 3D, l'Intelligenza Artificiale, la cybersicurezza o la robotica. Le nuove tecnologie richiedono competenze

<sup>1</sup> Ratto (2011, p. 252) definisce *Critical Making* «una modalità di impegno materialmente produttivo che intende colmare il divario tra l'esplorazione creativa fisica e concettuale». Il *Critical Making* mira a connettere due modalità di operare e impegnarsi nel mondo generalmente separate: il pensiero critico, tipicamente inteso come concettuale e linguistico, e il "fare" fisico, il lavoro materiale basato sugli obiettivi.



tecniche, ma necessitano al contempo di competenze trasversali (Tabarés & Boni, 2021). Ai sistemi educativi attuali si richiede dunque di ripensare i percorsi di insegnamento e apprendimento privilegiando, da un lato, una progettazione flessibile e, dall'altro, una didattica per competenze che integri efficacemente le tecnologie, al fine di gestire l'emergenza e la complessità derivanti dai contesti socio-culturali odierni.

Tra le proposte più recenti emerse nel contesto scolastico, nel tentativo di trasformare il modo in cui impariamo e insegniamo, spicca la *Maker Culture* (Blikstein, 2013). Essa si riferisce a un contesto in cui individui o gruppi producono oggetti digitali e/o tangibili e, allo stesso tempo, si impegnano nel pianificare, testare e valutare diverse soluzioni per risolvere un dato problema (Papavlasopoulou, Giannakos & Jaccheri, 2017). La cultura Maker può dunque facilitare lo sviluppo di *soft skills* come il lavoro di squadra, l'autogestione, l'imprenditorialità, le capacità comunicative, la creatività, il pensiero critico, la resilienza e altre ancora, sempre più richieste dall'attuale mercato del lavoro (Diaz, Tomàs, & Lefebvre, 2021; Rayna & Striukova, 2021). Se il "fare" è da sempre una pratica umana fondamentale, gli atti di fabbricazione associati al movimento Maker comportano generalmente l'integrazione delle tecnologie digitali nelle pratiche di progettazione e costruzione di oggetti fisici e talvolta virtuali (Pepler, Halverson, & Kafai, 2016) ed è spesso caratterizzato da un'interazione tra *low* e *high technologies*.

Negli ultimi anni, il movimento Maker ha fatto irruzione in campo educativo consolidando la tendenza al cosiddetto *authorship learning* (Donaldson & Bucy, 2017) e tratteggiando una linea educativa in cui è lo studente al centro di un processo di creazione, manipolazione ed immaginazione, i cui prodotti vengono fortemente percepiti come propri e personalizzati. In tal modo, egli diviene produttore di prodotti tangibili che nascono dalla sua immaginazione, piuttosto che mero consumatore o riproduttore di procedure date (Katterfeldt, Dittert, & Schelhowe, 2015). Il movimento, dunque, si rivolge alla comunità educativa come un modo per stimolare gli studenti a impegnarsi nelle materie STEM e a pensare in modo creativo (Hsu, Baldwin, & Ching, 2017). Sebbene esso sia spesso ritenuto un approccio innovativo nell'ambito dell'educazione STEM, il making ha radici profonde nelle pedagogie orientate all'apprendimento attraverso il fare, al costruttivismo sociale e alla pedagogia critica (Blikstein, 2013).

Le attività maker offrono infatti agli studenti l'opportunità di risolvere creativamente problemi aperti e significativi. Citando lo studio di Geser e colleghi (2019), la possibilità di affrontare temi di rilevanza sociale e ambientale per ricercare soluzioni creative e potenzialmente sostenibili, attraverso un apprendimento incentrato sull'azione, consente agli alunni di

fare esperienza come innovatori sociali e di sviluppare competenze imprenditoriali. Occorre perciò partire da un approccio incoraggiante atto a valorizzare le idee innovative degli studenti, riducendo la paura del fallimento<sup>2</sup>, che viene invece concepito come una funzione positiva del progresso (Martin 2015).

L'esperienza di apprendimento attraverso il making alimenta fortemente le competenze del XXI secolo (Blikstein, 2013), consentendo agli studenti di sviluppare creatività, inventiva e un senso di *agency* personale, migliorare la loro autoefficacia e autostima e diventare membri di una comunità (Chu, Schlegel, & Quek, 2017; Halverson & Sheridan, 2014). La libertà di scelta e la creatività risultano essere tra le motivazioni principali che spingono gli studenti a impegnarsi in attività maker (Vuopala *et al.*, 2020). Inoltre, alcuni studiosi riportano un aumento dell'interesse e della fiducia verso l'uso della tecnologia, favorito da tali esperienze (Eriksson *et al.*, 2018; Holbert, 2016). All'interno di una moderna cultura Maker, l'utilizzo di varie tecnologie è una componente naturale della soluzione di sfide reali e autentiche (Blikstein, 2013); tuttavia, esso deve essere supportato da un ambiente di apprendimento che favorisca un approccio costruzionista (Katterfeldt *et al.*, 2015) in cui gli studenti possano impegnarsi in azioni pratiche e tangibili. Secondo alcuni autori, infatti, la principale peculiarità del movimento risiede nell'implementare le varie teorie di riferimento, già diffuse da diversi decenni, attraverso l'uso di nuove tecnologie in spazi comunitari condivisi (Blikstein, 2013; Tabarés, 2018). L'intento è quello di individuare possibili strade per promuovere una mentalità Maker, non allontanandosi dalla tecnologia digitale, ma incorporandola efficacemente per migliorare l'apprendimento (Halverson & Sheridan, 2014).

Il volume offre una riflessione sugli scenari di apprendimento emergenti nell'era del post-digitale e delineati dalla recente nascita della *Maker Education*.

Il *primo capitolo* mira a tracciare una cornice teorica di riferimento, approfondendo sfide e scenari legati all'apprendere nel XXI secolo e ai recenti paradigmi del post-digitale e della *Maker Culture*. Si analizzano, inoltre, le relative implicazioni su significato e processi dell'apprendimento creativo.

A seguire, il *secondo capitolo* entra nel vivo della *Maker Education*, tratteggiando il passaggio dal movimento culturale all'approccio educativo,

<sup>2</sup> A tal proposito, il rapporto “*Missing Entrepreneurs*” dell'OCSE e della Commissione europea (OECD & European Commission, 2017) riporta che nel periodo 2012-2016 in media quasi la metà (46%) dei giovani intervistati tra i 18 e i 30 anni in Europa considerava la paura di fallire come un ostacolo all'imprenditorialità. In questo quadro, i concetti di iterazione e di assunzione del rischio assumono dunque una forte rilevanza (Hsu, Baldwin, & Ching, 2017).

gli elementi fondanti dell'educazione STE(A)M e dei contesti maker, per poi esaminare le principali tecnologie e metodologie ricondotte a tale approccio. Nello specifico, a partire da una distinzione tra *low* e *high technologies*, si pone l'accento sulle principali caratteristiche della robotica educativa (RE), della fabbricazione digitale e della realtà virtuale e aumentata, con un focus su potenzialità e sfide legate alla loro introduzione a scuola.

Il *terzo* e il *quarto capitolo* sono dedicati alla presentazione di alcuni esempi di pratiche per introdurre l'approccio Maker a scuola. In particolare, il terzo capitolo sintetizza e discute gli esiti di otto esperienze condotte a livello internazionale in scuole primarie e selezionate mediante una revisione letteraria svolta nel 2020. Il quarto capitolo, invece, analizza più nel dettaglio una sperimentazione condotta in una realtà scolastica italiana, a cavallo tra il 2021 e il 2022. Si chiariscono dunque lo scopo e le domande di ricerca che hanno guidato lo sviluppo del percorso, il contesto e il campione coinvolto, la metodologia e gli strumenti valutativi adottati, per poi sintetizzare le attività svolte e discutere brevemente i risultati emersi.

In ultimo, il *quinto capitolo* affronta una delle principali criticità evidenziate dal dibattito letterario attorno al tema. A seguito di una riflessione sui nuovi approcci alla valutazione, si riportano infatti alcune proposte e principi cardine legati alla valutazione di attività maker.

Infine, il capitolo dedicato alle *Conclusioni* è volto a tirare le fila di quanto esposto nel testo, alla luce degli apporti teorici ed empirici esaminati. Il fine ultimo è indubbiamente quello di porre in evidenza luci e ombre, potenzialità e sfide di un approccio innovativo e "trasformativo" (Dougherty, 2016) della didattica tradizionale, attraverso l'analisi della letteratura e di alcune pratiche, segnando un passo avanti nella ricerca in ambito educativo e individuando al contempo future direzioni da perseguire ed indagare.

# 1. La cornice teorica

## 1.1 Apprendere nel XXI secolo: sfide e scenari emergenti

I recenti progressi tecnologici e le trasformazioni dell'attuale società e mercato del lavoro sfidano i sistemi educativi a ripensare i metodi di apprendimento e insegnamento e i programmi scolastici tradizionali per promuovere le competenze XXI secolo.

Il World Economic Forum (2015) ha analizzato le *skills* che soddisfano le esigenze del mercato odierno, conducendo una meta-analisi della ricerca sulle competenze del XXI secolo nell'istruzione primaria e secondaria. Ha dunque distinto un insieme di 16 competenze cruciali suddivise in tre macro categorie (vedi Fig. 1):

- le alfabetizzazioni di base (*foundational literacies*) si riferiscono al modo in cui gli studenti applicano le abilità fondamentali ai compiti quotidiani. Esse comprendono le tradizionali abilità di lettura e calcolo, ma anche l'alfabetizzazione scientifica, l'alfabetizzazione alle TIC, l'alfabetizzazione finanziaria e quella culturale e civica. L'istruzione a livello globale si è sempre focalizzata sull'acquisizione di queste abilità. Tuttavia, mentre in passato era sufficiente comprendere testi scritti e relazioni quantitative per accedere al mondo del lavoro, oggi queste abilità rappresentano solo il punto di partenza del percorso verso la padronanza delle competenze del XXI secolo;
- le competenze (*competencies*) si riferiscono al modo in cui gli studenti affrontano sfide complesse. Esse comprendono: il pensiero critico, come capacità di identificare, analizzare e valutare situazioni, idee e informazioni per formulare risposte ai problemi; la creatività, come capacità di immaginare e ideare nuovi modi innovativi per affrontare i problemi, rispondere alle domande o esprimere un significato attraverso l'applicazione, la sintesi o la rielaborazione delle conoscenze; la comunicazione e la collaborazione, come capacità di lavorare in

coordinazione con gli altri per trasferire informazioni o affrontare problemi;

- le qualità caratteriali (*character qualities*) si riferiscono al modo in cui gli studenti affrontano il loro ambiente in continua evoluzione. Gli studenti hanno bisogno di qualità come: la persistenza e l'adattabilità, che assicurano maggiore resilienza e successo di fronte agli ostacoli; la curiosità e l'iniziativa, che rappresentano punti di partenza per scoprire nuovi concetti e idee; la leadership e la consapevolezza sociale e culturale, che comportano interazioni costruttive con gli altri in modi socialmente, eticamente e culturalmente appropriati.

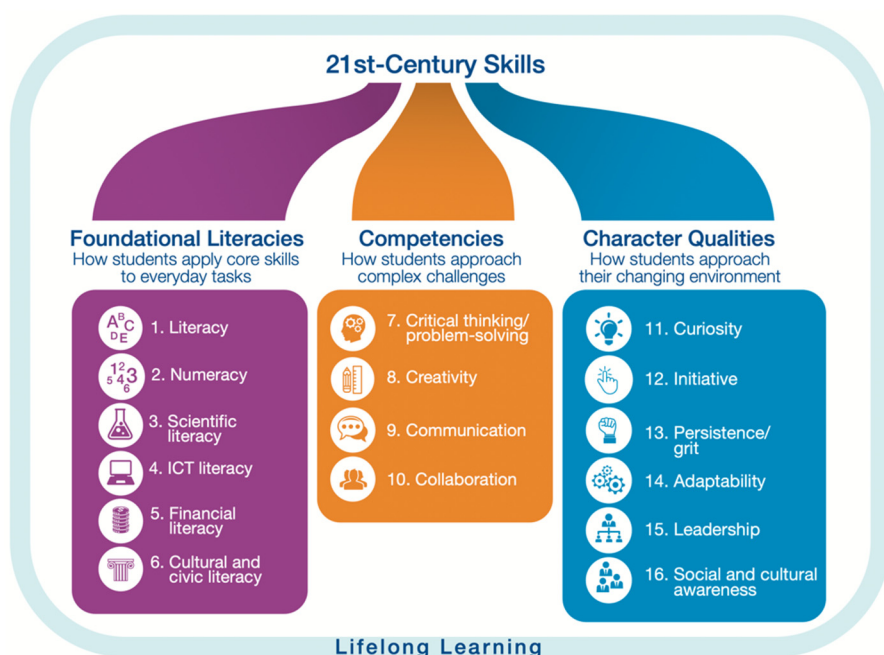


Fig. 1 – Le 16 skills richieste agli studenti per il XXI secolo.

Fonte: World Economic Forum, 2015, p. 3.

Le trasformazioni della società contemporanea si ripercuotono inevitabilmente sul mondo della scuola. La popolazione studentesca appare sempre più eterogenea in termini di background sociale e culturale e di modalità di comunicazione. Le coordinate spazio-temporali perdono i loro chiari confini e le loro connotazioni fisiche o definite. La conoscenza diventa sempre più frammentata e settoriale. Gli insegnanti sono dunque chiamati a

realizzare processi di innovazione basati su attività multimodali, flessibili e aperte e su metodologie attive (Giannandrea, 2021).

Gli ecosistemi di apprendimento del XXI secolo devono essere progettati in modo da coinvolgere attivamente gli studenti con compiti, attività pratiche ed esperienze di apprendimento che promuovano le competenze del XXI secolo, tra cui spiccano la creatività, il problem-solving, il pensiero critico, le competenze socio-emotive, come l'empatia, la collaborazione e la resilienza, e quelle di meta-apprendimento, spesso riassunte nell'espressione 'imparare a imparare'. Tali aree hanno a che fare con «la disposizione e la mentalità per agire o reagire a idee, persone o situazioni» (Consiglio dell'Unione europea, 2018, p. 7) e ciò le rende essenziali per fronteggiare un contesto scolastico e sociale caratterizzato da continue emergenze. Sebbene la maggior parte dei Paesi in tutto il mondo riconosca l'importanza delle competenze del XXI secolo nelle proprie politiche educative, l'inclusione di queste ultime nel curriculum e nelle politiche pedagogiche risulta al contrario meno evidente (Care, Anderson, & Kim, 2016).

Un recente rapporto del Parlamento Europeo, “*Report on a Comprehensive European Industrial Policy on Artificial Intelligence and Robotics*” (The European Parliament, 2019), invita le scuole a sviluppare e perseguire strategie di formazione e riqualificazione delle competenze digitali, al fine di includerle nell'insegnamento e nella formazione dai primi anni di scuola e per tutto il *life-long learning*. L'alfabetizzazione digitale viene infatti riconosciuta come uno dei fattori più importanti per lo sviluppo futuro e per una partecipazione ampia ed inclusiva. Per favorire il coinvolgimento dei cittadini di tutte le età, il rapporto suggerisce dunque di adattare i programmi educativi, creare nuovi percorsi di apprendimento e integrare le nuove tecnologie.

In tale scenario, acquisisce ancor più rilevanza poter lavorare per compiti situati, aperti e autentici, attivando processi di progettazione, produzione e confronto che vadano a colmare la distanza tra vita reale e proposte didattiche tradizionali (Dewey, 2004; Doppelt, 2009). Compiti che consentono soluzioni multiple e processi di apprendimento per prove ed errori offrono infatti un contesto significativo e fertile per lo sviluppo della creatività e delle *life skills* (Sala *et al.*, 2020), utili a gestire le sfide e i cambiamenti della vita personale e professionale (Bocconi, Kampylis & Punie, 2012; Bombieri & Giusti, 2021).

Supportare un cambiamento della didattica verso tale direzione implica la necessità di delineare percorsi che si ispirino ai tre fondamentali principi delineati da Berthoz (2009) nella sua teoria della semplicità: modularità, ridondanza e deviazione. Percorsi, dunque, capaci di tenere insieme la complessità del reale semplificandola senza renderla semplice, senza cioè

snaturarla e ricadere in pratiche superate e inefficaci nel contesto attuale (Gratani & Capolla, 2023). Il principio della modularità, calato nell'ambito didattico, mira a rispondere agli ostacoli derivanti dalla rigidità e dalla linearità dei percorsi formativi tradizionali (Sibilio, 2015). L'intento è infatti quello di progettare dei sistemi reticolari che consentano di fronteggiare l'imprevisto, preservando la significatività dei contenuti e della proposta didattica progettata. A tal fine, acquisisce particolare rilevanza il *microlearning*, caratterizzato da sequenze di microattività e microcontenuti interattivi, multimediali e autoconsistenti (Hierdeis, 2007; Rivoltella, 2013) conformi alle nuove necessità spazio-temporali. Il principio della modularità risulta strettamente connesso al secondo principio citato. Progettare in un'ottica di ridondanza significa infatti prevedere, già in sede di definizione della proposta didattica, più percorsi differenti orientati alle medesime finalità e ai medesimi obiettivi. In tal modo, il docente disporrà di varie strade e canali comunicativi per far fronte a difficoltà ed esigenze riferibili all'intero gruppo classe o ai singoli studenti (Sibilio, 2015; Di Tore, 2016). Infine, il principio di deviazione richiede al docente di "deviare" da quanto originariamente progettato per risolvere i problemi emersi nella situazione, simulando una nuova azione didattica (Rossi & Pentucci, 2021). Anche in questo caso, l'applicazione del *microlearning* si rivela preziosa grazie alla maggiore autonomia concessa allo studente e ai tempi contenuti e ben definiti. Promuovere percorsi in grado di accogliere la proposta di Berthoz e i principi metodologici descritti consente di fare passi avanti in termini di sostenibilità e di concorrere allo sviluppo delle tre aree centrali di competenza, personale, sociale e autoregolativa, enunciate nel recente Framework "LifeComp" 2020 (Sala *et al.*, 2020; Masseroni & Ravotto, 2021).

## 1.2 Il post-digitale

Indagando i nuovi scenari designati dalle recenti tecnologie, un concetto ricorre frequentemente in molteplici ambiti disciplinari.

Il termine post-digitale viene coniato e reso popolare all'inizio del XXI secolo dal musicista americano Kim Cascone (2000), il quale evidenzia una condizione di saturazione digitale. Cascone sostiene infatti che l'estetica del post-digitale si origina dal "fallimento" della tecnologia digitale, al punto da considerare persino *glitch*, *bug*, errori di applicazione, *crash* di sistema, distorsioni e rumori di quantizzazione materie prime da incorporare nella musica.

Nello stesso anno, Robert Pepperell e Michael Punt (2000) pubblicano uno dei primi libri che tratta esplicitamente del post-digitale, fornendo un'interpretazione che pone in contrasto la natura continua dell'esistenza biologica e la natura discreta ('on/off') della tecnologia digitale. Il termine propone quindi una visione critica del rapporto tra uomo, tecnologie digitali e forme d'arte e un atteggiamento più interessato all'essere umano che all'essere digitale.

Nell'ultimo decennio il concetto è stato oggetto di riflessione in vari settori, come le arti (Openshaw, 2015; Betancourt, 2017), l'architettura (Spiller, 2009; Horn, 2017) e le scienze umane e sociali (Bayne & Jandrić, 2017; Jandrić *et al.*, 2018; Knox, 2019; Kemper, 2022).

Il teorico tedesco dei media Florian Cramer (2015, p. 13) definisce il post-digitale come «un disincanto contemporaneo nei confronti dei sistemi d'informazione digitali e dei gadget mediatici, o un periodo in cui il nostro fascino per questi sistemi e gadget è diventato storico». Secondo l'autore il post-digitale rimanda a un approccio ai media non più volto all'innovazione o al miglioramento tecnico, in quanto la *disruption* provocata dalla tecnologia digitale si è già verificata e quest'ultima non è più percepita come dirompente. Come anticipato dalla nota affermazione di Negroponte (1998): «*Face it - the digital revolution is over*». La tecnologia è diventata pervasiva, trasparente e ha quindi raggiunto una forma "stabile", non più rivoluzionaria (Liu, 2004; Giannandrea, 2021). L'essere digitale, al pari dell'aria e dell'acqua potabile, sarà notato solo per la sua assenza, e non per la sua presenza (Negroponte, 1998). In tal senso, il prefisso 'post' non assume il significato che riveste nei concetti di post-modernismo e post-histoire, ma piuttosto in quelli di post-punk (inteso come una continuazione della cultura punk in modi che sono ancora punk, ma anche oltre il punk) o post-femminismo (inteso come una continuazione criticamente rivista del femminismo) (Cramer, 2015).

Secondo Kemper (2022, p. 6), «il post-digitale descrive sia una situazione che una risposta; delinea il modo in cui i media digitali permeano il tessuto culturale, e raccoglie un insieme di reazioni estetiche critiche a questa condizione». Coerentemente, Knox (2019) ritiene che il post-digitale rappresenti un tentativo di comprendere i cambiamenti nella relazione tra uomo e digitale e quindi di riconoscere come tale tecnologia sia incorporata e intrecciata con le pratiche sociali e i sistemi economici e politici esistenti, sviluppando discussioni critiche sull'uso delle tecnologie digitali contemporanee.

Il post-digitale induce dunque a non considerare più il digitale come 'altro' rispetto alla vita umana e sociale 'naturale' (Knox, 2019; Jandrić *et al.*, 2018). L'interrelazione dinamica tra digitale e non digitale nella vita



quotidiana impone un superamento della separazione tra questi due concetti. Il digitale non è un dominio speciale o separato dagli spazi incarnati quotidiani, poiché i due spazi sono inestricabilmente legati tra loro (Bayne & Jandrić, 2017). In tale prospettiva, la distinzione tra ‘vecchi’ e ‘nuovi’ media perde significato, così come l’affermazione ideologica dell’uno o dell’altro. Al contrario, il post-digitale fonde il ‘vecchio’ e il ‘nuovo’ e tende a premiare l’esperienziale piuttosto che il concettuale (Andersen, Cox, & Papadopoulos, 2014).

Come affermano Jandrić e colleghi (2018, p. 896):

La sfida postdigitale è intorno a noi. [...] Mostra la nostra crescente consapevolezza delle relazioni confuse e disordinate tra fisica e biologia, vecchi e nuovi media, umanesimo e postumanesimo, capitalismo della conoscenza e capitalismo bio-informazionale. Anche se forse preferiremmo andare avanti con un termine nuovo, ci rendiamo conto che la condizione postdigitale è una delle grandi sfide di oggi nella scienza, nell’educazione, nelle arti e in altre varie aree di interesse umano.

La dialettica post-digitale tra esseri umani e tecnologie fornisce infatti una sfida significativa per le scienze dell’apprendimento (Jandrić & Hayes, 2020). La percezione ibrida della realtà e dell’esperienza influenza la visione dell’educazione che, secondo Jandrić e colleghi (2018), non può mai essere interamente online o digitale, ma comporta sempre la combinazione di digitale, biologico, materiale e sociale. Il post-digitale si è immerso nel processo pedagogico rompendo i confini dell’insegnamento e dell’apprendimento formale e informale. Esso dialoga con gli altri elementi di complessità derivanti dalle rapide trasformazioni sociali e culturali, come la frammentarietà dei saperi, l’eterogeneità dei contesti classe e l’indefinitezza dei confini spazio-temporali.

Jandrić (2019) parla di intelligenza collettiva post-digitale, che può essere riassunta attraverso la trialettica: *we-think*, *we-learn* e *we-act*. Secondo l’autore, il post-digitale ha in qualche modo trasformato questi concetti che caratterizzano da sempre la condizione umana, creando una nuova dinamica tra di essi. Qualsiasi pensiero, individuale o collettivo, deriva e produce apprendimento. Qualsiasi pensiero e apprendimento potrebbe essere derivato dalle azioni di qualcuno o potrebbe provocare un nuovo pensiero, apprendimento o azione da parte di qualcun altro.

Nell’educazione post-digitale, la distinzione tra digitale e non digitale non è più essenziale nella progettazione e nell’implementazione delle pratiche didattiche (Fawns, 2019). Il digitale cessa di fungere da caratteristica distintiva e diviene semplicemente lo ‘stato’ o la condizione di *default* (Cramer & Jandrić, 2021). Tale sfida è particolarmente visibile in campi come quello dell’educazione online, in cui si pongono questioni come

identità, creatività e relazioni tra tecnologia e *agency* umana. Essa ci offre però la possibilità di resistere agli elementi disumanizzanti dell'educazione incentrata sul consumo, per riconscepire un curriculum intrecciato, non separato dal corpo umano (Hayes, 2017). La separazione rinascimentale tra lavoro manuale e intellettuale, tra processo ideativo e costruttivo, viene meno a favore di una cultura del fare. L'elemento innovativo della didattica post-digitale è rappresentato dalla connessione diretta tra il processo progettuale e quello produttivo in grado di colmare il divario tra l'esplorazione creativa fisica e concettuale, in un'ottica di "*Critical Making*" (Ratto, 2011). La interdisciplinarietà e la transdisciplinarietà divengono criteri chiave per la progettazione del percorso didattico nell'era post-digitale. Lo spazio ibrido di iterazione tra designer e strumenti adottati viene contaminato da altri ambiti disciplinari nell'intento di indagare nuovi metodi di fabbricazione, ma anche di stimolare la creatività attraverso un fecondo processo di collaborazione tra vari settori disciplinari (Figliola, 2018). Al contempo, la transdisciplinarietà invita a cogliere gli elementi complessi ed eterogenei del contesto, integrando il disciplinare a prospettive e campi multipli, come quello etico, sociale e culturale, e creando luoghi di dialogo tra questi ultimi (Novy, 2012; Jandrić, 2016).

La sfida post-digitale va oltre il determinismo tecnologico e cerca nuove opportunità di pedagogia critica (McLaren & Jandrić, 2014). Ryberg, Davidsen e Hodgson (2018) invitano, infatti, a non focalizzarsi eccessivamente sulle tecnologie digitali, per soffermarsi invece sulle pratiche contemporanee degli studenti con la tecnologia, intese come complessi intrecci tra tecnologie fisiche e digitali, spazi, attività e tempo. È dunque necessario fornire un supporto mirato per permettere agli insegnanti di sfruttare il ricco potenziale di un apprendimento ibrido (Green, 2022).

### **1.3 L'apprendimento creativo nel post-digitale**

L'accelerazione del flusso di informazioni e il rapido cambiamento tecnologico sono due fattori all'origine dell'incertezza, della complessità e dell'ambiguità attuali (Cousins, 2018) e assegnano alla creatività nell'educazione un ruolo rilevante, poiché situazioni imprevedibili e imprevedibili richiedono soluzioni innovative (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022; Capolla, Rossi, & Pentucci, 2023).

L'incertezza legata a un futuro imprevedibile gioca un ruolo centrale quando si pensa alla relazione tra apprendimento, creatività e cambiamento. Essa catalizza e condiziona l'apprendimento attuale e futuro (Beghetto, 2020), fornendo un'opportunità per passare a nuovi modi di pensare e di

agire. Il modo in cui sperimentiamo e rispondiamo all'incertezza dipende da molteplici fattori e può portare a una serie di risultati voluti e non voluti che, a loro volta, possono condurre all'apprendimento creativo o rafforzare conoscenze e pratiche esistenti. Lo stesso termine "creatività" assume oggi un significato specifico, in quanto non è legato semplicemente al cambiamento, ma alla radicalità del cambiamento stesso. Come sottolineano Verganti (2008; 2018) e De Toni e De Zan (2015), l'innovazione oggi richiede di ripensare il senso stesso del processo e dell'artefatto, le loro finalità e funzioni. L'esempio che viene spesso proposto è relativo alla produzione delle candele, un tempo utilizzate per illuminare, oggi per creare un ambiente "intimo" o per profumare. La creatività, pertanto, non si limita a ripensare le procedure con cui produrre un artefatto, ma al senso dell'artefatto stesso.

Le tecnologie di per sé non favoriscono un apprendimento creativo e innovativo. Anche le tecnologie più recenti, se utilizzate in combinazione con i presupposti e i principi di insegnamento e apprendimento tradizionali, spesso si limitano a offrire nuove modalità per effettuare le stesse pratiche prototipiche. L'obiettivo diventa quello di adottare nuovi principi di apprendimento creativo, più che di sviluppare e adottare tecnologie innovative (Beghetto, 2023).

La creatività è intrinsecamente associata all'apertura mentale verso il nuovo o all'assunzione di rischi intellettuali. In tal senso, le tecnologie digitali possono fornire uno spazio sicuro per sperimentare idee e per ridurre il senso di disagio o di rischio scaturito dall'incertezza (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022). Al contempo, però, occorre considerare la natura "opaca" della tecnologia (Daniela, 2021). Spesso si presume che l'interesse suscitato dalla tecnologia sia sufficiente a stimolare gli studenti ad acquisire nuove conoscenze e generare nuove idee. La tecnologia può indubbiamente favorire un interesse per i contenuti didattici, consentendo agli utenti di avvicinarsi a essi in modo differente, ma non necessariamente il suo utilizzo determina processi cognitivi, operativi e affettivi adeguati alle sfide attuali. Inoltre, soluzioni progettuali poco ponderate, oltre a riprodurre meccanismi obsoleti e non coerenti con le *affordances* dei dispositivi, possono condurre a un sovraccarico cognitivo che influisce sui processi di apprendimento e la capacità di concentrazione degli studenti. Capire come accedere alle informazioni, per ricordarle, utilizzarle e analizzarle, o comprendere il funzionamento di una data tecnologia può aggiungere un notevole carico cognitivo al processo di apprendimento. Ciò, a sua volta, potrebbe impedire allo studente di focalizzarsi su un uso della tecnologia per scopi o funzioni connesse al raggiungimento dell'obiettivo di apprendimento stabilito. Pertanto, se da un lato è importante considerare compiti adeguati all'età e

orientati agli obiettivi, dall'altro è necessario progettare compiti basati sulla tecnologia per garantire che lo studente indirizzi il carico cognitivo verso la loro risoluzione (Daniela, 2021).

In sintesi, oggi, «la vita non è tanto catturata dal digitale, quanto piuttosto costruita per mezzo di esso» (Eliott, 2019, p. 138) e occorre evitare due principali derive:

da una parte il tentativo di sottrarre il digitale (e l'Intelligenza Artificiale con esso) a una fallacia deterministica sulla base della quale esso produrrebbe effetti inevitabili su di noi senza nessuna possibilità di mediazione, dall'altra l'idea di suggerire che il digitale da solo non produce nulla se non sulla base dell'iniziativa e della direzione dell'uomo (Panciroli & Rivoltella, 2023, p. 40).

In passato, gli strumenti tecnologici a disposizione dei creatori erano principalmente tecnologie fisiche (ad esempio, matita, carta, martello, righello o qualsiasi strumento in grado di estendere il pensiero umano al di là delle capacità intrinseche/fisiche) o analogiche (ad esempio, dischi in vinile o orologi o altri dispositivi che operano utilizzando segnali elettrici, senza scomporre in codice binario). L'avvento delle tecnologie digitali, come computer o altri dispositivi che utilizzano un codice binario, ha prodotto cambiamenti profondi nella storia della scienza e della tecnologia, generando nuove potenzialità e sfide per l'apprendimento creativo (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022). La mappatura analogica uno-a-uno tra il fenomeno e la sua rappresentazione lascia il posto alla codifica in numeri di tutte le informazioni che possono dunque essere riprodotte, modificate, manipolate, remixate e condivise (individualmente o in scala) con estrema facilità (Bolter, 2020). Inoltre, «ogni attività che passa attraverso un computer o un dispositivo multimediale basato su computer - navigare sul web, giocare, partecipare a una chat, condividere un post, scrivere un commento, modificare una foto - lascia automaticamente delle tracce» (Manovich, 2023, pp.149-150). Questo ultimo elemento modifica non solo i processi, ma la ricerca stessa e sposta l'attenzione sempre più sul processo e sull'interazione con i documenti, permettendo di «rappresentare l'interazione» (Manovich, 2023, p. 158).

Non si tratta di sostenere che le diverse forme di tecnologie offrano proposte “migliori o peggiori” per l'apprendimento, ma piuttosto di riconoscere che le loro proprietà suggeriscono *affordances*, possibilità d'uso ed effetti diversi sul modo in cui pensiamo, lavoriamo o creiamo (Dirkin & Mishra, 2010). In un approccio socioculturale, gli strumenti tecnologici coinvolgono un sistema di conoscenze, competenze e organizzazione e ciò implica che lo scopo di una determinata tecnologia, pur essendo plasmato dalle sue proprietà, non è predefinito. Piuttosto, le interazioni inestricabili tra

oggetti, ambiente e psiche umana ne determinano il potenziale e il significato (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022).

L'influenza delle tecnologie su pensiero, apprendimento o creatività non è sorta con i computer e i media digitali; ogni tecnologia, che si tratti di linguaggio orale/scritto, carta e matita o computer, ha contribuito a trasformare i processi operativi, cognitivi e l'apprendimento. Tuttavia, nel mondo in cui vivono oggi i nostri studenti, definito da molti post-digitale, le tecnologie rivestono un ruolo rilevante e offrono potenti e inedite possibilità di indagine, accesso alle informazioni, creazione, modifica, remix e condivisione. Tali possibilità, però, per essere sfruttate a pieno, richiedono un allineamento con gli obiettivi di apprendimento, con le esigenze degli studenti o con la geografia culturale della classe.

L'apprendimento creativo deriva da una combinazione di processi individuali e sociali che generano una comprensione nuova e significativa per se stessi e per gli altri (Beghetto, 2016). Esso si origina e si alimenta grazie all'incontro con l'incertezza, strutturato su una serie di processi di creazione di senso e di eventi esperienziali. I processi di creazione di senso possono avvenire a livello individuale e sociale e verificarsi in modo continuo nel tempo e nello spazio.

Nel passato (e spesso tuttora) le attività laboratoriali erano finalizzate a una produzione fine a se stessa e all'acquisizione di concetti dati. Pensare a un apprendimento creativo richiede, invece, di centrare l'attenzione sul processo e di concepire il prodotto come qualcosa di continuamente migliorabile. La natura dinamica, emergente e indefinita di tale apprendimento presuppone sempre un orientamento al futuro e una ricorsività, legata alle pratiche di progettazione e revisione reiterate al fine di migliorare l'artefatto e renderlo più funzionale al suo scopo. Tale processo ha analogie con le modalità operative di produzione delle applicazioni. Nella maggioranza dei casi, progettazione, produzione e utilizzo sono processi ricorsivi e l'utente invia continui feedback al progettista per eliminare *bug* o migliorare il prodotto, partecipando al processo creativo e rendendo il prodotto un "eterno beta" mai definitivamente concluso, ma con *release* pubblicate ogni due mesi (Capolla & Rossi, *in press*).

Oggi l'orientamento al futuro non implica solo il perfezionamento dell'artefatto in vista della sua funzionalità; produrre qualcosa significa anche ripensare e mettere in discussione le finalità per cui quel determinato artefatto è stato progettato. In tal senso, anche la revisione di un oggetto esistente, in vista di un nuovo scopo, può condurre a immaginare e creare qualcosa che, pur esistendo prima, acquisisce finalità e funzioni diverse. Qualcuno potrebbe cogliere una contraddizione tra un fare procedurale, obbligatorio quando si lavora con le tecnologie digitali, e le prospettive

creative che le stesse tecnologie favoriscono. In realtà, come sottolinea Bolter (2020), nell'operare digitale sono presenti molte dicotomie. Una di queste è la relazione tra proceduralità e flessibilità: ogni tecnologia digitale propone molti possibili a seconda di come le sue componenti sono assemblate e da tale differenziazione deriva la flessibilità, anche se l'uso della specifica applicazione presuppone un rigoroso uso delle procedure. La flessibilità e, da essa, le potenzialità creative del digitale sono determinate non solo dalla variabilità del contesto, ma anche dalle peculiarità degli attori; in sintesi dall'interazione tra agenti umani e digitali. Solo in un determinato contesto e in base all'interazione con gli umani è possibile costruire una traiettoria di senso tra i plurimi possibili (Fawns *et al.*, 2023). L'aggregazione di componenti digitali come sensori, attuatori, software di programmazione e microcontrollori "scardina" la rigida successione procedurale (da processo di sviluppo e di controllo dell'ideatore a processo esecutivo del consumatore), a favore di ricorsività e iterazione. Anche la pluralità di prospettive è componente centrale nelle esperienze di apprendimento creativo. La creazione di senso avviene nel contesto della differenza (Glăveanu & Beghetto, 2016), ossia in un contesto di disposizioni e prospettive dialogiche e socio-materiali offerte da persone, idee, oggetti ed esperienze nell'ambiente immediato e con interlocutori e incontri passati, presenti e futuri (Beghetto, 2023). La non linearità delle esperienze e la complessità del contesto comportano dunque caratteristiche ricorsive e bidirezionali che trasformano dinamicamente i risultati dell'apprendimento.

Cosa cambia, allora, nell'apprendimento creativo potenziato dalla tecnologia?

Adottando una prospettiva post-umana, Creely (2023) sostiene che significato e contenuto della creatività si trovino nel nesso tra l'*agency* umana e l'*agency* dello strumento. La creatività è condizionata dalle possibilità e dalle limitazioni offerte dallo strumento e questa materialità ha un effetto profondamente attivo sia sui confini entro cui essa può manifestarsi, sia sul contenuto dell'apprendimento e della produzione creativa. Gli studi più recenti nel campo, basati sui progressi della psicologia sociale e culturale, suggeriscono una nuova cornice e un nuovo linguaggio che riconoscano la creatività come un processo dinamico, interconnesso e contestuale in cui gli elementi sociali, culturali, materiali e psicologici si intrecciano e interagiscono. Le tecnologie sono strumenti con cui pensare, lavorare e creare; fanno parte del mondo socio-materiale in cui le persone agiscono e posseggono diverse opportunità, reali e percepite, che conferiscono loro un ruolo nel processo di apprendimento (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022). I designer sono sempre in dialogo con i loro materiali: ogni azione eseguita con certi materiali "risponde" al designer,

suggerendo, supportando o modificando la mossa successiva in una sorta di creatività dialettica e cumulativa (Schön, 1983). Il futuro degli studi sulla creatività dovrebbe esplorare in profondità queste direzioni sia empiricamente che teoricamente, richiamando le recenti prospettive materialiste (Barad, 2007) e post-umane (Braidotti, 2013), per delineare un nuovo quadro di riferimento che decentri l'uomo (come singolo) dal nucleo dei processi creativi e si focalizzi sull'intersezione tra tecnologie digitali, apprendimento informale e creatività distribuita (Chemi, 2023).

L'enfasi sulla relazione dialogica tra attori, pubblico e artefatto ha implicazioni sul processo di insegnamento e apprendimento. L'attuale sistema educativo si basa su un gruppo di adulti che determina ciò che gli studenti devono imparare e assegna un valore a ciò che essi fanno. Al contrario, una prospettiva che tiene conto di questa relazione dinamica e sottolinea gli aspetti sociali e culturali dell'apprendimento porterà a strutture e possibilità educative molto diverse, centrate sull'interazione tra agenti differenti: studenti, docenti e tecnologie. Gli studenti non sono visti come individui passivi che lavorano in maniera decontestualizzata su progetti predisposti dagli insegnanti, ma come agenti attivi e responsabili che creano nuovi artefatti (materiali, digitali, concettuali) per i possibili destinatari, anch'essi coinvolti. Gli studenti diventano parte del processo di progettazione, passando da semplici esecutori, a creatori e co-creatori dell'artefatto (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022). Internet si configura come un costrutto tecnologico che ha rimodellato il modo in cui pensiamo, agiamo, impariamo e educiamo. Esso ha reso meno netta la distinzione tra utenti e creatori, consentendo agli utenti di divenire creatori, *influencer* e partecipanti attivi, che guidano l'evoluzione della tecnologia stessa (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022).

Un effetto delle riflessioni precedenti è la necessaria rilettura degli assunti pedagogici del *learning by doing* e *by making* (Ranieri, 2021). Occorre pertanto domandarsi come si modifica il processo creativo ed esperienziale quando l'oggetto materiale viene posto in relazione a componenti digitali, ossia quando si passa dal tradizionale *Do It Yourself* (DIY) a un DIY digitalmente potenziato.

Nel passato il *learning by doing* era associato al fare esperienza di un mondo dato e non modificabile nelle sue leggi strutturanti e nelle caratteristiche dei suoi materiali. Per Dewey educare è educare “con l'esperienza e per l'esperienza”, ovvero a partire dall'esplorazione del mondo per acquisire strumenti per affrontare il futuro. Esiste pertanto un filo rosso tra l'attivismo classico e il recente approccio Maker. La centralità del fare, l'attenzione al mondo dello studente e lo sguardo al futuro sono elementi comuni presenti in “Esperienza e educazione” (Dewey, 2014) e

sono ancora indicazioni fondanti per un approccio attuale al fare. Il passaggio alla cultura post-digitale modifica in parte il ruolo dell'esperienza, delle scienze e del metodo. L'attenzione oggi si sposta, nel bene e nel male, dal sapere alle tecnologie. Per Dewey l'educatore «dovrebbe conoscere in che modo utilizzare la situazione circostante, fisica e sociale, per estrarne tutti gli elementi che debbono contribuire a promuovere esperienze di valore» (Dewey, 2014. p. 27). Si riferisce a un sapere dichiarativo in cui le conoscenze e abilità acquisite in una situazione diventano strumento per affrontare nuove situazioni. Cosa avviene quando da un sapere dichiarativo si passa a un sapere procedurale (Bolter, 2020), come quello che caratterizza la cultura del post-digitale? Quando il fare si caratterizza come produzione creativa di artefatti necessari a risolvere problemi della vita reale? Inoltre, se nel passato il metodo scientifico era un riferimento per tutte le scienze, la complessità del mondo attuale rende spesso inapplicabili approcci riduzionisti (Rossi, 2023).

Oggi, come ricorda Floridi (2017), la tecnologia non media tra umani e mondo, ma tra umani e tecnologie (prima fase del digitale) e tra tecnologie e tecnologie (post-digitale). Lo spostamento del focus dalla scienza alle tecnologie sposta l'attenzione da approcci dichiarativi ad approcci procedurali (Bolter, 2020) e rimette in discussione il metodo scientifico: ogni intervento delle tecnologie modifica il mondo e nessuna ricerca può più essere utilizzata senza tener conto di questa fluidità (Manovich, 2023). Sorgono inoltre problemi in ambito etico e morale che richiedono di mettere in campo un approccio critico, apparentemente non necessario quando la scienza era finalizzata a interpretare il mondo della Natura. Oggi il fare produce cambiamenti e trasformazioni e incide sul mondo che andiamo a costruire. Il solo metodo scientifico non può essere l'unico criterio di validazione.

I progressi dell'*Internet of Things* (IoT) stanno generando una serie di metodi e strumenti per promuovere attività di creazione attraverso l'ideazione e la prototipazione collaborativa (Rivoltella & Rossi, 2021). La produzione creativa di artefatti IoT può essere orientata all'insegnamento di nuove competenze del XXI secolo e di alfabetizzazione al design attraverso programmi educativi che enfatizzano lo sviluppo di capacità di problem-solving, di *sketching* del pensiero creativo e di riflessione in ambienti di apprendimento ibridi che combinano ideazione, progettazione, innovazione collaborativa e fabbricazione digitale (Smith, Iversen, & Hjorth, 2015). La progettazione e la prototipazione di artefatti IoT hanno, infatti, il potenziale per rendere più concrete e gestibili le manipolazioni simboliche e astratte coinvolte nelle procedure creative dei giovani studenti (Divitini *et al.*, 2017).



L'ascesa del *World Wide Web* ha contribuito a determinare una postura post-materiale, in cui il pensiero materiale e la materialità o fisicità hanno lasciato il posto a concetti astratti, come il *cyberspazio*. Oggi però viviamo in quella che Mann (2014) definisce “età post-post-materiale” o “età post-cyborg”, in cui il mondo materiale (fisico) si combina con quello immateriale (computazionale). Su tale combinazione si fonda la peculiarità dei cosiddetti “*Smart Object*” (Domínguez e Ochoa, 2017), ossia versioni potenziate dal punto di vista computazionale di oggetti di uso quotidiano. Gli oggetti “intelligenti” derivano, infatti, dall’incorporazione di dispositivi informatici, come i microcontrollori, in oggetti di uso quotidiano, come frigoriferi, scarpe, portachiavi e orologi. Essi sono gli elementi costitutivi dell’IoT e hanno la capacità di rilevare e raccogliere informazioni sul loro utilizzo o sull’ambiente, per poi elaborare o trasmettere tali informazioni e agire in base ad esse o a un comando esterno (Kortuem *et al.*, 2010).

La creazione di un artefatto interattivo presuppone un processo di progettazione e riflessione su cosa e come codificare, i cui esiti sono “concretizzati” e visibili nell’artefatto stesso. Il processo ideativo e risolutivo costruito in forma digitale, a sua volta, si interfaccia con l’artefatto creato fornendo un feedback utile al miglioramento e aprendo a una progettazione iterativa (Franklin, 2015; Kafai & Vasudevan, 2015). Si assiste quindi a una ricorsività tra assemblaggio concreto di materiali e quello digitale di dati e a una sintesi tra un “fare” manuale e digitale (Gratani & Seitamaa-Hakkarainen, 2023, *in press*). Tale sintesi richiama quella tra fare e pensare che Sennet (2008) riconduce all’artigianato, inteso non come semplice lavoro manuale qualificato, ma come arte, maestria, capacità di realizzare ciò che ci si prefigge combinando attività manuali e intellettuali, utile tanto all’artigiano quanto al programmatore, al medico e all’artista. Secondo Sennett (2008), gli artigiani contemporanei sono dunque coloro che sanno usare con maestria le tecnologie digitali e considerano la qualità, l’innovazione e la cooperazione sociale valori fondamentali del loro lavoro. In tal senso, l’artigianato diviene una sintesi «tra la mano e la testa», permettendo alle azioni concrete di dialogare con il pensiero e la creatività (Sennet, 2008, p. 277).

La produzione creativa presuppone una riflessione critica sul modo in cui vengono prese le decisioni di progettazione tecnologica, su come esse risultano interconnesse con la produzione artigianale e la funzionalità ingegneristica e su come si intersecano con le scelte personali e gli assunti culturali (Kafai & Pepler, 2014). Ciò comporta la necessità di piste di ricerca orientate a un’etica della responsabilità che si traduca in comportamenti di cittadinanza (digitale) coerenti (Pancioli & Rivoltella, 2023).

Considerare la creatività come comprensiva di azioni cognitive (come l'ideazione, il pensiero divergente e l'intuizione) e attive (come l'esecuzione, la realizzazione e la performance) estende l'idea di ambiente di apprendimento oltre l'orizzonte ristretto dell'aula. Gli studenti non si impegnano più per l'insegnante, ma cercano di impegnarsi con e per il mondo e ciò diviene un elemento fondamentale per l'apprendimento. Se gli studenti non sono incoraggiati a interagire attivamente con persone reali in situazioni di vita reale, permarrà uno scollamento tra il "cosa" (contenuti specifici) e il "come/perché" (applicazione delle conoscenze acquisite e ragioni per cui è importante imparare quei contenuti) (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022). L'azione, in senso ampio, non consiste nell'operare all'interno della propria mente o nei limiti della classe, ma nell'impegno performativo con il mondo. Nel contesto educativo, ciò veicola un'idea di aula diffusa che supera lo spazio-tempo classe e suggerisce a educatori e studenti di non finalizzare l'ideazione e la progettazione al solo contesto formale, per comprendere come le soluzioni pensate possano avere una ricaduta nel mondo reale (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022).

L'importanza di educare alla creatività si rafforza man mano che i lavori del futuro si concentrano su attività e compiti non routinari e non automatizzabili (Cropley, Medeiros, & Damadzic, 2023). Le nuove tecnologie stanno annullando il confine tra il modello di un oggetto e l'oggetto stesso, fondendo le funzioni di progettazione, ingegneria e costruzione. I metodi per costruire un modello e modellare ciò che viene costruito divengono più avanzati e ciò consente di lavorare non solo in modo più rapido ed economico, ma anche più efficace, affrontando compiti con un livello di complessità che supera i limiti imposti dalla tradizionale divisione del lavoro tra sviluppo e produzione di un progetto (Gershenfeld, 2005).

La formazione di una forza lavoro creativa, innovativa e imprenditoriale è diventata, pertanto, una nuova direzione per le università, le organizzazioni politiche e i mercati globali (National Association of Colleges and Employers, 2018). Tuttavia, il numero limitato di ore e giorni di lezione dell'anno scolastico porta gli insegnanti, il più delle volte, a sacrificare attività creative (Beghetto, 2013) a favore del lavoro sui cosiddetti "programmi". Contrapporre conoscenze a creatività non ha senso. Integrando efficacemente la tecnologia in classe, il lavoro sulle discipline e quello sulla creatività possono divenire processi fortemente integrati, fondamentali per preparare gli studenti ad affrontare le sfide dell'istruzione post-secondaria e di percorsi di carriera in rapida evoluzione (Plucker *et al.*, 2023).

## 1.4 La *Maker Culture*

Chris Anderson (2012), ex caporedattore della rivista *Wired*<sup>3</sup>, fu il primo a parlare di *Maker revolution* per indicare l'influente ruolo del movimento Maker nell'innescare di una nuova rivoluzione industriale, da lui definita *democratisation of manufacturing* o, stando ad altri studiosi, la "democratizzazione dell'innovazione" (von Hippel, 2005).

Il movimento Maker è indubbiamente caratterizzato da una molteplicità di interpretazioni e prospettive. Dougherty (2012) lo identifica come una cultura in espansione basata sull'esplorazione, la creazione e l'innovazione. Successivamente, Honey e Kanter (2013) pongono l'enfasi sulla sua natura *hands-on*, mentre Halverson e Sheridan (2014) sottolineano la produzione creativa di artefatti nella propria quotidianità, seguita da una condivisione fisica o digitale di processi e prodotti. Il movimento viene inoltre concepito come un'estensione della cultura DIY, in quanto basato su pratiche di progettazione, costruzione e modifica di oggetti materiali e sulla combinazione di tecniche artigianali e tecnologie digitali (Martin, 2015; Taylor, 2016), configurandosi quindi come un *tech-influenced* DIY (Bravi, Murmura, & Santos, 2018). Ciò è stato favorito anche da un improvviso aumento di accessibilità a numerosi strumenti e tecnologie digitali, sia in termini di ubicazione che di costo (Bevan, 2017). Anderson (2012) sottolinea poi la natura sociale del movimento rivoluzionario, nato dall'incontro di persone che condividono particolari visioni e passioni con le possibilità offerte dalle recenti innovazioni tecnologiche. Tale dimensione sociale è incoraggiata oggi da una cultura *open-source* che influenza l'accesso alle tecnologie e la creazione dei contenuti.

La maggior parte degli autori converge nell'attribuire la nascita della corrente alla pubblicazione del *Make magazine*<sup>4</sup> nel 2005 da parte di Dale Dougherty. Il making, tuttavia, non è da considerarsi come un fenomeno nuovo; «i makers sono, infatti, sempre esistiti» (Guasti, 2017, p. 17). Basti pensare a sarti, cuochi, giardinieri, fabbri o a chiunque ami costruire, anziché comprare, qualcosa con strumenti alla portata di tutti. Oggi i makers possono essere considerati i nuovi artigiani dell'era digitale (Manzo & Ramella, 2015), solitamente giovani persone con la passione per la fabbricazione personale, realizzata combinando il DIY e le nuove tecnologie (Bravi,

<sup>3</sup> *Wired* è una rivista mensile statunitense nata nel 1993 a San Francisco in California e nota come "La Bibbia di Internet". Tale rivista dedicò la sua copertina al movimento Maker nell'edizione statunitense dell'aprile del 2011 con Limor Fried di Adafruit Industries e in quella italiana del novembre 2012 con Massimo Banzi, uno dei fondatori di Arduino e tra i principali promotori del movimento Maker in Italia.

<sup>4</sup> <https://makezine.com/>.

Murmura, & Santos, 2018). La sua genesi, pertanto, non è stata guidata da ingegneri e tecnologi, anche se questi campi sono arrivati ad abbracciarlo, ma piuttosto dalla coesione di un insieme eterogeneo di comunità organizzate attorno all'autorialità e all'artigianato (Bevan, 2017).

Tra i valori fondanti della *Maker culture*, Mark Hatch (2013) evidenzia l'impegno a condividere e collaborare con altri makers con differenti interessi e competenze, nonché l'attenzione a creare, piuttosto che "consumare", prodotti esistenti. La cultura Maker si ispira infatti al riuso, alla riparazione e all'assemblaggio creativo, ponendosi in contrasto con il dilagante consumismo degli anni Ottanta e Novanta (Menichetti & Micheletta, 2021). A tal proposito, Dougherty (2012) ritiene che il movimento sia in parte nato proprio dal bisogno di relazionarsi agli oggetti con passione e con modalità che ci rendano più che semplici consumatori. Nella sua rubrica all'interno del primo numero della rivista *Make*, l'autore scriveva: «più che semplici consumatori di tecnologia, siamo creatori, adattando la tecnologia ai nostri bisogni e integrandola nella nostra vita. Alcuni di noi sono nati maker e altri, come me, lo diventano quasi senza rendersene conto». Secondo Holbert (2016) il making consente di leggere il mondo come una collezione di risorse e materiali da comporre, riproporre e riorganizzare. Egli lo associa ai quesiti "*What if?*" (E se?) e "*Why not?*" (Perché no?), al sentirsi responsabili per le sfide affrontate da se stessi e dalla propria comunità e al mettere in atto soluzioni.

Un anno dopo la pubblicazione del *Make magazine*, nella Bay Area di San Francisco, venne istituita la prima *Maker Faire*<sup>5</sup>, un evento su larga scala volto a radunare appassionati di tecnologia, artigiani, educatori, ingegneri, artisti, studenti ed espositori commerciali creando uno luogo di scambio e confronto in grado di ampliare l'idea di apprendimento e comunità (Dougherty, 2012). Circa 200.000 persone frequentano annualmente le fiere di New York e Bay Area e solo nel 2017 sono state organizzate più di 190 *Mini Maker Faires* indipendenti e più di 30 fiere su larga scala in tutto il mondo (Bravi, Murmura, & Santos, 2018), per arrivare alle oltre 200 attuali.

Con il lancio della rivista *Make* nel 2005, Dougherty e il suo team hanno fornito il catalizzatore per una comunità DIY e *tech-influenced*. A conferma dell'interesse e della popolarità riscossi, negli ultimi anni il movimento ha iniziato ad espandersi e a "contaminare" sempre più profondamente le singole comunità, attraverso la nascita di «siti informali per la produzione creativa in arte, scienza e ingegneria dove persone di tutte le età combinano tecnologie digitali e fisiche per esplorare idee, imparare abilità tecniche e creare nuovi prodotti» (Sheridan *et al.*, 2014, p. 505). Tali spazi, conosciuti

<sup>5</sup> <https://makerfaire.com/>.

come *Makerspace*, *Hackerspace* o *FabLab* (vedi par. 2.3 del capitolo 2), sono sorti in librerie (Horton, 2019; Lakind, Willett, & Halverson, 2019), musei (Braybrooke, 2018), scuole (Craddock, 2015; Attewell, 2020), università (Barrett *et al.*, 2015; Trust, Maloy, & Edwards, 2018) e altri contesti formali e informali. Lo scopo è quello di incoraggiare persone di ogni età a incontrarsi per mescolare e condividere le loro idee, esplorare i propri interessi, creare, inventare e costruire (Fleming, 2015), mettendo in sinergia oggetti digitali e materiali (Halverson & Sheridan, 2014). Inoltre, facilitando l'incontro di makers con simili interessi di progetto, i makerspace possono condurre alla creazione di potenziali partnership commerciali (Browder, Aldrich, & Bradley, 2019).

Hatch (2013), amministratore delegato e co-fondatore di *TechShop*, uno dei primi e più riusciti makerspace, descrisse attività e mind-sets dei makers nel *Maker Movement Manifesto*, delineando nove concetti chiave: fare (*make*), condividere (*share*), donare (*give*), apprendere (*learn*), attrezzarsi (*tool up*), giocare (*play*), partecipare (*participate*), supportare (*support*), cambiare (*change*). Dalla letteratura emergono poi tre caratteristiche distintive dell'agire e dell'apprendere in questi spazi: (1) un approccio *hacker*, fondato sull'analisi del funzionamento di determinati oggetti, scomponendoli e utilizzando la conoscenza acquisita per crearne di nuovi, (2) una metodologia *tinkering*, legata al "pensare con le mani" e all'apprendere sperimentando con materiali e strumenti e, infine, (3) una filosofia *sharing*, orientata alla collaborazione e alla condivisione della conoscenza.

I termini *hacking* e *tinkering* sono sempre più spesso affiancati al concetto di making. Il primo termine deriva dall'inglese "to hack" ("intaccare", "incidere", "farcela", "tagliare a pezzi") ed ha assunto nel tempo diverse connotazioni a seconda del periodo storico e dell'ambito applicativo. Dougherty (2016) evidenzia infatti come da una valenza tipicamente negativa associata all'hacker informatico, si sia poi giunti, negli anni Novanta, ad una valenza molto più ampia e positiva del concetto:

Negli anni '90, la gente cominciò a parlare di "hacking" al di fuori dell'informatica [...]. Hacking non era più limitato ai computer ma si stava estendendo ad auto, giocattoli, orologi, biciclette, case, quasi tutto ciò che si può pensare. Gli hacker stavano hackerando l'hardware, non solo il software. Il mondo fisico stesso stava diventando uno spazio di gioco [...]. Potevamo hackerare il mondo intorno a noi (Dougherty, 2016, pp. 13-14).

La metodologia *tinkering*, invece, nasce all'Exploratorium di San Francisco a partire dalle esperienze e dalle ricerche svolte dal M.I.T. (*Massachusetts Institute of Technology*) di Boston. Il termine deriva dall'inglese "to tinker", che significa "armeggiare", "provare ad aggiustare".

Lo scopo è dunque quello di insegnare a “pensare con le mani” e ad apprendere sperimentando con strumenti e materiali di vario tipo tramite un approccio *bottom-up*<sup>6</sup>. Il tinkering è strettamente correlato al già citato ciclo di design *Think-Make-Improve* (TMI), letteralmente “Pensa-Crea-Migliora”.

Tale ciclo si compone di tre fasi:

1. *think*: è la fase di ideazione. Include processi di problem-setting, brainstorming e progettazione della possibile soluzione ad un problema;
2. *make*: è la fase di azione. Include processi di creazione e mediazione;
3. *improve*: è la fase di verifica. Include processi di testing della funzionalità del modello e della corrispondenza con le caratteristiche pensate nella fase *think* e realizzate nella fase *make*. In questo stadio si possono verificare due condizioni: il modello non funziona o i creatori sono “bloccati” (1); il modello funziona e i creatori sono soddisfatti (2). La prima eventualità è più frequente della seconda, ma in entrambi i casi vi è sempre un margine di miglioramento (Martinez & Stager, 2013).

Il coinvolgimento nei processi di hacking, tinkering e making può divenire un forte acceleratore per lo sviluppo delle competenze di alfabetizzazione del XXI secolo (Jenkins *et al.*, 2009), risultando centrale ed estremamente funzionale in ambito educativo. Papavlasopoulou, Giannakos e Jaccheri (2017) definiscono infatti il movimento Maker come «un’evoluzione tecnologica e creativa che ha implicazioni illimitate per il mondo dell’educazione».

<sup>6</sup> L’approccio *bottom-up* (“dal basso verso l’alto”) è un processo di sintesi che regola la gestione delle conoscenze e la risoluzione di problemi. Tale approccio viene applicato prevalentemente in ambito informatico per lo sviluppo di software, ma si è poi esteso anche ad altri settori scientifici ed umanistici. In psicologia, l’elaborazione *bottom up* inizia da un input sensoriale o stimolo esterno; si parla quindi di una modalità di elaborazione “guidata dai dati”, che parte dai dati sensoriali (le singole parti dello stimolo). Ad esso si contrappone l’approccio *top-down* (“dall’alto verso il basso”) caratterizzato da un processo di scomposizione di modelli complessi. L’elaborazione, in questo caso, è “guidata dai concetti”, cioè basata sul riconoscimento di pattern attraverso l’uso di informazioni contestuali.

## 2. La *Maker Education*

### 2.1 Dal movimento all'approccio educativo

A distanza di un decennio dalla nascita e dalla diffusione del movimento Maker in tutto il mondo, diversi settori e ambiti si sono confrontati con esso per esplorare le sue potenzialità per l'istruzione, l'imprenditorialità e l'innovazione (Browder, Aldrich, & Bradley, 2019; Rosa, Guimaraes Pereira, & Ferretti, 2018).

Il governo americano accolse il movimento Maker come un modo per incoraggiare la produzione, l'innovazione e l'imprenditorialità del Paese attraverso vari programmi per gli studenti. A livello internazionale assistiamo infatti alla diffusione della *Maker Education* come movimento culturale ed educativo incentrato sull'impiego innovativo di strumenti digitali, che associa approcci ludici e creativi ad attività scientifiche ispirate al design industriale e all'ingegneria (Repetto, 2020).

Il nuovo approccio educativo viene considerato un'estensione tecnologica dell'attivismo, in grado di veicolare lo sviluppo delle competenze STEAM e del XXI secolo (Binkley *et al.*, 2012). Gli studiosi ritengono che esso possa rivoluzionare l'insegnamento e l'apprendimento e "perturbare" o trasformare l'educazione, così come noi la conosciamo (Dougherty, 2013, 2016; Kurti, Kurti, & Fleming, 2014a; Martinez & Stager, 2013). In particolare, Halverson e Sheridan (2014, p. 503) evidenziano il suo potenziale nel trasformare il modo in cui intendiamo «ciò che conta» come apprendimento, come discente e come ambiente di apprendimento, segnando un passo decisivo verso l'equità nell'istruzione. Anche Alimisis e colleghi (2019) pongono l'enfasi sulla possibilità di democratizzare l'accesso alle opportunità di *learning by making* e sviluppo delle competenze e, ancor più importante, di promuovere atteggiamenti positivi e apertura alla cultura del making per le future generazioni di cittadini. Il movimento Maker sfida i sistemi educativi a fornire ad ogni cittadino opportunità di accesso

all'apprendimento con le recenti tecnologie di fabbricazione, a prescindere dalle sue doti o qualifiche in ambiti scientifici (Alimisis, 2019).

La *Maker Education* affonda le sue radici pedagogiche nelle teorie dell'attivismo, del costruttivismo e del costruzionismo (Montessori, 1914, Dewey, 1938; Vygotsky, 1978; Papert & Harel, 1991). In particolare, Dewey (1938) sottolinea l'importanza di un apprendimento esperienziale (*learning by doing*) fondato su sperimentazione e indagine autentica attraverso oggetti ed esperienze del mondo reale. A seguire, Papert e Harel (1991) sostengono che le attività di progettazione possono fornire contesti significativi per un *learning by making*, dove la conoscenza si manifesta attraverso la costruzione di cose concrete e condivisibili. L'apprendimento risulta quindi più efficace quando gli studenti lo sperimentano come costruzione di un prodotto significativo (Papert, 1986).

Tali visioni entrano però in contrasto con il modello didattico tradizionale e dominante, basato sul trasferimento del sapere e l'acquisizione di contenuti, ormai inadeguato per rispondere alle sfide poste dall'odierna società. La tendenza radicata è infatti quella di replicare la medesima modalità di insegnamento ricevuta (Lortie, 1975) e di trasmettere conoscenze discrete e inerti, valutabili con test standardizzati (Niederhauser & Schrum, 2016). Tuttavia, come sottolineano Lundberg e Rasmussen (2018), la nostra economia e il mondo attuale hanno bisogno di pensatori e creatori innovativi, che cerchino nuovi modi di vedere il mondo. In accordo con il pensiero di Dougherty (2012), nelle scuole è dunque necessario uno spostamento di focus, iniziando a ragionare non solo in termini di come valutare ciò che lo studente sa, ma anche di cosa egli può fare con ciò che sa. Quando si crea qualcosa, il prodotto è una dimostrazione di quello che si è imparato a fare, una prova del proprio apprendimento. Inoltre, parlare dell'oggetto creato o raccontare una storia su di esso è un'ulteriore opportunità per imparare e allo stesso tempo insegnare agli altri (Dougherty, 2012). Per dirlo con le parole di Papert (1980, p. 11), si tratta di «*objects-to-think-with*»<sup>7</sup>.

La *Maker Education* richiede agli studenti di accedere e sviluppare conoscenze sia concettuali che procedurali, trasformando la conoscenza in azione e aiutando a generare conoscenza dall'azione. Gli studenti creano e sperimentano artefatti ricorrendo alla programmazione e alla produzione manuale attraverso esperienze di esplorazione e manipolazione del mondo fisico supportate dalle tecnologie (Repetto, 2020). Viene pertanto

<sup>7</sup> Come espresso nel suo celebre testo "*MINDSTORMS Children, Computers, and Powerful Ideas*", Papert (1980) considera prezioso ogni oggetto educativo in grado di fungere da modello per altri oggetti, ancora da inventare. L'interesse dell'autore è infatti rivolto al processo di invenzione di "oggetti con cui pensare", oggetti in cui si intersecano presenza culturale, conoscenza *embedded* e possibilità di identificazione personale.



considerata una modalità altamente coinvolgente e interattiva di implementare i principi dell'apprendimento *project-based* e *hands-on* (Lundberg & Rasmussen, 2018), muovendosi verso un processo aperto di progettazione partecipata che risulterebbe fortemente “enattivo” (Lehmann & Rossi, 2020). Le attività orientate a questo approccio sono innumerevoli e variano a seconda del contesto e delle forniture, ma includono principalmente: la manifattura, la robotica, la cucina, la tessitura, la realizzazione di circuiti, la stampa 3D e la fabbricazione digitale.

Nell'interpretazione del concetto di *learning by making* elaborata da Martinez e Stager (2013), il *making* si riferisce al lavoro con strumenti e materiali, il *tinkering* a una mentalità ludica e di problem-solving, mentre la sperimentazione, la scoperta e l'ingegneria si riferiscono all'applicazione di principi scientifici per progettare, costruire ed inventare.

Tale approccio incoraggia dunque il problem-solving creativo e il pensiero critico, contribuendo, al contempo, allo sviluppo dell'alfabetizzazione tecnologica (Metz, 2017), delle nuove competenze del XXI secolo (World Economic Forum, 2015) e di quella che Marsh, Arnseth e Kumpulainen (2018) definiscono *Maker citizenship*<sup>8</sup>.

L'occupabilità e le competenze professionali sono notevolmente evolute dall'inizio del XXI secolo, con un' enfasi sulla creatività, il design e i processi ingegneristici. Molti autori sottolineano, a tal proposito, l'influenza dell'approccio Maker non solo nel potenziamento di un curriculum STEM e nel perseguimento di carriere in tali ambiti, ma anche nella creazione di propri mestieri (Peppler & Bender, 2013). Come sostengono Schön, Ebner e Kumar (2014, p. 21): «le abilità di creare e innovare possono avere un ampio impatto sull'apprendimento permanente degli studenti e, in ultima analisi, per l'istruzione e la società».

A tal proposito, Geser e colleghi (2019) analizzano il rapporto tra *Maker Education* e *Entrepreneurship Education*, evidenziando come nei tradizionali programmi di educazione all'imprenditorialità per bambini e giovani manchi spesso il coinvolgimento nello sviluppo di un prodotto/servizio volto a risolvere un problema sociale o ambientale o, qualora vi sia, non si verifichi come attività centrale. Il progetto di ricerca

<sup>8</sup> Gli autori analizzano la relazione tra il making e la cittadinanza creativa/DIY esplorando il ruolo della cultura maker nello sviluppo dell'alfabetizzazione digitale e delle competenze di design creativo dei bambini. Essi ritengono che il making consenta: in primo luogo, un'azione sia individuale che collettiva che può portare a un forte senso di inclusione sociale; in secondo luogo, lo sviluppo di culture di facilitazione per affrontare questioni fondamentali per le comunità (come la sostenibilità); in ultimo, la costruzione di contro-narrazioni su una comunità attraverso un approccio basato sul territorio. Impegnandosi in questo tipo di pratiche, i bambini possono così sviluppare una comprensione di una o più delle tre aree chiave della cittadinanza: diritti, appartenenza e partecipazione (Bellamy, 2008).

“DOIT”<sup>9</sup> illustrato dai ricercatori prevede invece un percorso di apprendimento basato sul making che va dall’identificazione di un problema locale alla presentazione di un prototipo o di una soluzione fattibile a potenziali utenti e sponsor. Nel processo di creazione e apprendimento gli studenti hanno dunque modo di ragionare su aspetti imprenditoriali quali, ad esempio, destinatari (mercato) e risorse necessarie (costi, sostegno finanziario). In tal modo, come illustrato dalla Fig. 2, il connubio tra educazione all’imprenditorialità precoce e educazione Maker pone il focus su atteggiamenti e competenze essenziali come la fiducia in se stessi, la creatività e il lavoro di squadra e promuove competenze progettuali e tecniche, tra cui l’uso produttivo degli strumenti digitali.



Fig. 2 – Sviluppo delle competenze attraverso l’educazione all’imprenditorialità precoce e/o l’educazione maker.

Fonte: Geser et al., 2019, p. 64.

Gli studenti sono spinti a lasciare che siano i loro interessi e le loro capacità a guidare la creatività (Kafai, Fields, & Searle, 2014), e ciò si traduce in un aumento dell’investimento personale nei compiti e in uno stimolo all’autonomia (Martin 2015). Anche Schön, Ebner e Kumar (2014) fanno riferimento agli impatti creativi e tecnologici di attività basate sul fare, che rappresentano una componente importante del problem-solving e della relazione del contenuto educativo con il mondo reale.

La *Maker Education* impatta dunque sulle finalità della scuola e sulle necessità sollecitate dai contesti socioculturali odierni. Essa soddisfa l’attuale richiesta di un nuovo modo di insegnare e apprendere *future-focused, project-based e learner-centered*, in cui la tecnologia e l’artigianato si combinano per rendere tangibili le idee e gli interessi degli studenti. Inoltre, tra i punti di forza dell’approccio, spicca l’abbattimento delle barriere tra i tradizionali “compartimenti” disciplinari (Gilbert, 2017; Shelley et al., 2016) e la capacità rendere la conoscenza scientifica più accessibile

<sup>9</sup> <https://youthproaktiv.org/projects/doiit-project/>.

(Martin, 2015), coinvolgendo i giovani in un apprendimento STEM più profondo (Gilbert, 2017).

Lo sviluppo e il facile accesso alle nuove tecnologie continuano a esercitare un influsso su metodologie di insegnamento e di apprendimento (Khalifa & Brahimi, 2017), evidenziando sia il potenziale che la necessità di una pedagogia trasformativa (Wood *et al.*, 2019; Yelland & Arvantis, 2018), in grado di generare radicalmente nuovi modi di conoscere e di apprendere (Guasti, 2017).

Tale necessità impone una riflessione sul ruolo del docente. Quest'ultimo non è più identificabile come il "travasatore" di conoscenze, ma piuttosto come il "regista" che orchestra risorse, ambienti e input e guida gli alunni in una sperimentazione aperta all'errore (Rivoltella, 2018). L'errore acquisisce una valenza formativa poiché deriva dal tentare, assumere dei rischi e testare i propri limiti (Cesaro & Monti, 2021) e stimola processi di riflessione, autovalutazione e metacognizione volti al miglioramento della performance. Il docente si pone dunque «al fianco dello studente» (Cecchinato & Papa, 2016, p. 7), evitando di fornire conoscenze "preconfezionate" che possano alterare il suo naturale processo di apprendimento ma, al contrario, motivandolo a svolgere un personale percorso di conoscenza volto a risolvere, interpretare, spiegare e, quindi, imparare (Cecchinato & Papa, 2016). L'apprendimento auto-diretto, orizzontale e incentrato sullo studente, piuttosto che un modello *top-down*, appare quindi come una rappresentazione molto più autentica del processo di apprendimento spontaneo e necessita di un insegnante facilitatore, supervisore, animatore o consulente nelle attività generate dagli studenti (Karppinen, Kallunki, & Komulainen, 2019).

Tali esigenze si scontrano però con limitazioni derivanti da vincoli strutturali, normativi e metodologici. Ne consegue un necessario ripensamento della formazione dei docenti e futuri docenti, nonché dei metodi e degli spazi di apprendimento.

## 2.2 L'educazione STE(A)M

Tra i vantaggi ricondotti alla *Maker Education* vi è quello di contribuire al superamento della dicotomia tra scienze pure e applicate, fungendo da catalizzatore per una visione olistica delle discipline (Bullock & Sator, 2015). In tal senso, i suoi intenti si fondono con quelli di un altro recente paradigma educativo, conosciuto come educazione STEM o STEAM.

L'acronimo STEM e le prime riflessioni attorno all'educazione STEM si sviluppano attorno agli anni 2000 negli Stati Uniti. Fu Judith Ramaley,

vice direttore della divisione “Educazione e Risorse Umane” della *National Science Foundation* (NSF), a coniare l’acronimo STEM nel 2001, mentre si impegnava nello sviluppo di un curriculum volto a potenziare l’educazione in scienze (*Science*), tecnologia (*Technology*), ingegneria (*Engineering*) e matematica (*Mathematics*). In quegli anni, infatti, una ricerca americana rilevò un minor rendimento scolastico degli studenti americani rispetto a quelli di altri Paesi e un negativo impatto sul sistema economico per la carenza di una forza lavoro specializzata. Si avviarono così indagini statistiche su scala globale che misero in luce un insufficiente livello di preparazione degli studenti nelle materie STEM.

Sanders (2009) fu il primo a promuovere il concetto di educazione integrata STEM avanzando un approccio pedagogico di «progettazione e indagine mirata» (Sanders, 2009, p. 21). L’educazione STEM nasce infatti come strategia per promuovere l’innovazione e preparare i giovani alle professioni *high-tech* del futuro, contribuendo in tal modo allo sviluppo e alla crescita della società.

Numerosi documenti hanno evidenziato il rapporto tra l’educazione STEM e la crescita economica e occupazionale dei Paesi (European Commission, 2014; United States Department of Education, 2016; Momete, 2015). Dal 2007, i lavori in campo informatico e matematico hanno registrato un aumento più rapido rispetto a qualsiasi altra categoria occupazionale, crescendo del 21% (Rothwell, 2014, p. 15). Inoltre, stando agli ultimi rapporti del *Bureau of Labor Statistics* degli Stati Uniti, l’occupazione nelle STEM è cresciuta del 79% negli ultimi tre decenni e si prevede che i lavori STEM cresceranno di un ulteriore 10,5% dal 2020 al 2030<sup>10</sup>, contro il 7,5% delle occupazioni non-STEM. I lavori STEM vengono quindi considerati come «*the jobs of the future*» (Langdon *et al.*, 2011) e i professionisti STEM come «i costruttori della prossima realtà» (Momete, 2019).

Emerge però un divario tra l’aumento della domanda di competenze STEM e l’insufficiente quantità e qualità dell’offerta (Royal Academy of Engineering, 2017). Il grado di formazione nei settori STEM diviene pertanto un rilevante indicatore della capacità della nazione di sostenere il suo sviluppo (Frolov, 2010).

Nel corso degli anni, si sono diffuse diverse variazioni e integrazioni dell’acronimo STEM, come STEAM in cui “A” sta per *Arts* (arte), STEMM in cui “M” sta per *Music* (musica) e STREAM in cui “R” sta per *Reading* (lettura). Tra questi il più conosciuto è sicuramente il primo, che “completa” i campi STEM integrando una componente creativa e quindi ulteriori metodi di problem-solving e analisi delle informazioni. Questo arricchimento trova

<sup>10</sup> <https://www.bls.gov/emp/tables/stem-employment.htm>.

riscontro anche da un punto di vista fisiologico, richiamando la complementarità tra gli emisferi sinistro e destro del cervello. Entrambi gli emisferi, infatti, svolgono un ruolo essenziale, alimentando da un lato i processi logici e dall'altro quelli creativi e intuitivi. Per soddisfare le esigenze economiche e culturali del XXI secolo, si richiede quindi una combinazione armoniosa tra le scienze considerate più "dure" e quelle più umanistiche/artistiche. Coerentemente, la NSF riporta una visione ampia e variegata delle STEM, includendo matematica, scienze naturali, ingegneria, informatica e scienze dell'informazione, ma anche scienze sociali e comportamentali.

L'educazione STEM o STEAM pone l'enfasi sul fare applicato, in un'ottica interdisciplinare, a scienza, tecnologia, ingegneria, design artistico e conoscenza matematica, abilità e attitudini (Wang *et al.*, 2019). Lo studio delle STEM si differenzia dunque da quello delle singole materie poiché si fonda su un paradigma educativo che integra le discipline e applica il metodo scientifico a situazioni reali e di vita quotidiana.

Blackley e Howell (2019, p. 56) si riferiscono all'educazione integrata STEM come:

*l'impegno intenzionale con prodotti o la risoluzione di problemi del mondo reale che richiede l'utilizzo di due o più delle discipline STEM, con o senza altre aree disciplinari come le Arti, in tandem con le competenze del 21° secolo - adattabilità, comunicazione, abilità sociali (collaborazione), creatività, risoluzione di problemi non ordinari, autogestione, autosviluppo e sistemi di pensiero (Bellanca & Brandt, 2010).*

Gli autori sostengono che l'educazione integrata STEM non dovrebbe essere concepita come il contesto per l'insegnamento esplicito di scienze, tecnologia e matematica, ma piuttosto come uno spazio che consenta agli studenti di applicare le conoscenze e le abilità STEM e le competenze del XXI secolo in diversi contesti, al fine di creare prodotti e/o risolvere problemi che richiedono principi di ingegneria. Per il successo di questa educazione risultano cruciali gli strumenti e le opportunità di formazione professionale e di supporto di cui dispongono gli insegnanti.

Heil, Pearson, e Burger (2013, p. 5-6) riportano una serie di caratteristiche utili a distinguere l'educazione integrata STEM da altre aree di contenuto e metodologie di insegnamento. Tra queste spiccano l'integrazione di idee e processi tra e attraverso le discipline STEM, la connessione con il mondo reale e l'adozione di approcci all'insegnamento e all'apprendimento basati sulla risoluzione di problemi, l'indagine e la progettazione.

Similmente, Walker e colleghi (2018, p. 332) identificano nove categorie per un curriculum integrato STEM di qualità: (1) un contesto motivante e coinvolgente, (2) una sfida di progettazione ingegneristica, (3) l'integrazione

di contenuti scientifici, (4) l'integrazione della matematica, (5) strategie didattiche incentrate sullo studente, (6) il lavoro di squadra, (7) la comunicazione, (8) l'organizzazione e (9) la performance e la valutazione formativa. Sulla base di queste categorie, i ricercatori hanno poi sviluppato due framework promettenti per le scuole della fascia k-12 che desiderano implementare un curriculum STEM integrato.

Il *Teaching Institute for Excellence in STEM*<sup>11</sup> (TIES) è il principale attore e innovatore nella progettazione di ecosistemi STEM. TIES è un'organizzazione che riunisce partners di vari campi e industrie in tutto il mondo per reimmaginare le STEM. L'intento è quello di garantire l'equità di accesso, consentendo a tutti i giovani di completare la loro istruzione "*STEM-ready*" e di poter perseguire carriere in questi ambiti. Il successo dell'azione non è tuttavia definito dalla quantità di studenti che si avvicina a queste professioni, ma dall'istruzione di qualità che viene fornita loro per poter operare scelte consapevoli sul futuro. L'attenzione, inoltre, non è rivolta solo alla preparazione accademica degli studenti, ma anche ai loro livelli di interesse, che risultano ancora prevalentemente esigui, soprattutto per le categorie sottorappresentate. A tal fine, TIES si impegna a creare *partnerships* collaborative tra scuole, comunità, imprese e agenzie governative e a fornire supporto per la formazione, la pianificazione strategica e l'implementazione di programmi di studio STEM.

In Italia, l'educazione STEM è sempre più oggetto di corsi extracurricolari o PON, grazie all'interesse emergente per il coding e la RE (MIUR, 2015a; MIUR, 2015b; MIUR, 2018). In particolare, il Piano Nazionale Scuola Digitale (PNSD) (MIUR, 2015b) ribadisce l'obiettivo strategico di avvicinare i ragazzi ai percorsi formativi e alle carriere afferenti agli ambiti STEM, prestando attenzione all'orientamento e alla disparità di genere:

Le nostre ragazze, più delle loro coetanee in altri paesi, vivono in un contesto che porta a minori aspettative di risultato e quindi di carriera negli ambiti collegati alle scienze, alla tecnologia, all'ingegneria e alla matematica (le cosiddette discipline STEM), sebbene i test di ingresso e gli esiti di apprendimento dimostrino ampiamente il contrario (MIUR, 2015b, p. 89).

Il PNSD sostiene la predisposizione di spazi per l'educazione STEM, attraverso l'azione #4 "Ambienti per la didattica digitale integrata", in cui si inserisce il recentissimo bando nazionale "Spazi e strumenti digitali per le STEM"<sup>12</sup> (2021).

<sup>11</sup> <https://www.tiesteach.org/>.

<sup>12</sup> [https://www.istruzione.it/scuola\\_digitale/prog-stem.shtml](https://www.istruzione.it/scuola_digitale/prog-stem.shtml).

Il potenziamento delle metodologie di insegnamento e apprendimento delle STEM nelle scuole costituisce oggi una priorità e al contempo una sfida per i sistemi educativi internazionali. L'esigenza è quella di far acquisire agli studenti la padronanza di strumenti scientifici e digitali per esercitare al meglio la propria cittadinanza e allinearsi alle richieste dell'attuale mondo del lavoro.

## 2.3 I makerspace

Introdurre la pedagogia Maker a scuola impone una riflessione sui contesti di apprendimento. In Italia, un notevole impulso verso il rinnovamento degli spazi si rintraccia a partire dagli anni Sessanta con il *Reggio Emilia approach* di Loris Malaguzzi. L'autore individua, infatti, come luogo cardine della scuola e dell'apprendimento, l'atelier creativo. Tale spazio privilegia l'apprendimento esperienziale, l'esplorazione e l'espressione artistica divenendo luogo di ricerca, invenzione ed empatia (Paolella, 2013). I bambini possono apprendere ed esprimere i loro "cento linguaggi" (Malaguzzi, 1995) attraverso molteplici strumenti e canali, come l'arte, la musica, il corpo e la parola. I linguaggi espressivi, matematici e artistici diventano quindi parte del processo di costruzione della conoscenza.

Simili caratteristiche contraddistinguono oggi i luoghi destinati a supportare le attività maker, che assumono generalmente le seguenti denominazioni: *hackerspaces*, *makerspaces* e *FabLabs*.

I primi hackerspace nascono nel 1995 come luoghi di incontro, lavoro e condivisione per programmatori. Le attività che li connotano sono prevalentemente legate all'informatica e alla telematica e quindi alla programmazione e alla condivisione di software *open-source*, al riciclo di vecchi dispositivi o apparecchi elettronici o alla realizzazione di circuiti. Come già menzionato, nel corso degli anni l'*hacking* perse la sua rigida collocazione all'interno dell'ambito informatico, nonché la sua accezione prettamente negativa, per estendersi a comuni pratiche di *life hacking*, volte a risolvere problemi quotidiani ed aumentare la produttività e l'efficienza di oggetti fisici.

Dall'evoluzione degli hackerspace sono sorti in seguito i makerspace. Questi ultimi si caratterizzano come spazi innovativi orientati all'*hacking* (nella sua accezione più ampia), al tinkering e al making, in cui è possibile creare artefatti utilizzando strumenti e risorse specializzate, come apparecchi elettronici, *laser cutters*, stampanti 3D, ma anche risorse di uso quotidiano, digitali e non (Marsh, 2017). Sono dunque ambienti creativi allestiti da comunità locali, scuole o club doposcuola, biblioteche, musei e altre

organizzazioni per promuovere forme creative di impegno culturale e sociale (Geser *et al.*, 2019). Sheridan e colleghi (2014, p. 507) li definiscono come «spazi che coinvolgono il fare, sviluppare un'idea e costruirla in qualche forma fisica o digitale». Creatività ed innovazione rappresentano quindi due requisiti chiave dei makerspace. Il numero di makerspace a livello mondiale è sconosciuto, ma si stima che in Europa ve ne siano circa 400 con un uso relativamente intenso degli strumenti digitali (Geser *et al.*, 2019). La diffusione in Europa ha seguito un andamento irregolare che si è basato sulle politiche specifiche di ogni Stato membro (Rosa *et al.*, 2017). Tuttavia, la Commissione europea ha finanziato diversi progetti nell'ambito di programmi di ricerca collaborativi come Horizon 2020 o Erasmus+ per esplorare il potenziale innovativo del movimento Maker in diversi ambiti della società.

All'interno della categoria dei makerspace troviamo poi i *FabLabs*. La nascita dei *FabLabs* o *fabrication laboratories* viene ricondotta al 2002, grazie a un'intuizione del professor Neil Gershenfeld presso il *Center for Bits and Atoms* nel Media Lab del MIT. I FabLab coniugano l'artigianalità tipica dei makerspace con la tecnologia degli hackerspace, focalizzandosi su quest'ultima e sulla corrispondenza tra rappresentazione digitale e fabbricazione di un oggetto complesso. I FabLab sono infatti laboratori dotati di vari strumenti per la fabbricazione digitale, come software per la progettazione e la modellazione, dispositivi elettronici e macchine per la lavorazione di diversi materiali (Garzia & Mangione, 2017). Tali laboratori sono spesso istituiti da università o sono strettamente collegati ad esse come spazi per l'istruzione, la ricerca e l'innovazione. A differenza dei makerspace, la maggior parte dei FabLab fa parte di una rete di collaborazione internazionale<sup>13</sup>, gestita dalla *FabFoundation*, che si impegna a fornire un set minimo di strumenti di base, a garantire l'accessibilità e a condividere le conoscenze. Attualmente si rintracciano più di 1500 FabLab distribuiti in oltre 100 paesi.

I makerspace possono essere classificati secondo vari criteri, come finalità, collocazione, struttura, attrezzature e prodotti realizzati (Schön, Ebner, & Kumar, 2014). Stando alla tassonomia riportata da Sagbauer e Ebner (2021, p. 60), si possono distinguere quattro categorie principali di makerspace, utilizzati per scopi educativi nelle e dalle scuole:

1. makerspace esterni;
2. makerspace scolastici;
4. makerspace aperti situati nelle scuole;
5. makerspace temporanei (*pop-up*).

<sup>13</sup> Mappa raffigurante la distribuzione dei FabLab nel mondo: <https://www.fablabs.io/labs/map>.



Nella prima categoria gli autori collocano spazi attrezzati per le attività di fabbricazione organizzati in locali esterni alla scuola, come biblioteche, università, workshop professionali, makerspace commerciali, e così via. In base alla locazione, la gestione e il finanziamento possono competere al comune, alle università o a società o associazioni operative, mentre la frequenza può essere libera o riservata ad utenti della biblioteca o a studenti/impiegati. Tali makerspace supportano vari tipi di attività come progetti di classe, progetti privati o professionali e workshop guidati e offrono vantaggi alle scuole dal punto di vista economico, mettendo a disposizione risorse umane e strumentali. I makerspace scolastici sono invece intesi in senso molto ampio «come spazi fisici in un edificio scolastico o utilizzati da scuole dotate degli strumenti necessari per le attività maker» (Sagbauer & Ebner 2021, p. 60). Essi sono gestiti e finanziati dalla scuola e possono trovarsi in un'aula dell'edificio o della biblioteca scolastica o in un'apposita aula *craft*. Gli istruttori sono dunque insegnanti o bibliotecari e la frequenza è limitata ai soli studenti. A seconda della collocazione e dell'intento si possono svolgere progetti di classe, progetti privati o workshop guidati. A differenza di quelli scolastici, i makerspace aperti sono situati in uno spazio fisico extra dell'edificio scolastico e sono aperti a tutti. Come i makerspace esterni, supportano attività di vario genere e la gestione e il finanziamento spettano alla scuola o ad una società o associazione operativa. Infine, la categoria dei makerspace temporanei o pop-up si distingue dalle altre per la sua massima flessibilità in termini di tempo e spazio. Essi, infatti, non hanno una collocazione stabile, ma possono essere allestiti ovunque e in qualunque momento. La gestione e i fondi sono generalmente affidati a una società o associazione operativa, mentre non vengono identificate categorie specifiche di istruttori ed utenti.

Anche Marsh e colleghi (2017) riconoscono l'influenza di spazio, tempo e contesto e offre una classificazione dei makerspace (Fig. 3) fondata sull'intersezione di due assi: contesto di apprendimento formale/informale e permanente/temporaneo. Nei quattro quadranti che ne derivano troviamo le seguenti tipologie di makerspace:

1. *community-based* makerspace (informale-permanente);
2. makerspace pop-up in librerie e musei / *maker faire* (informale-temporaneo);
3. makerspace pop-up / mobili nelle scuole (formale-temporaneo);
4. *makerlabs* nelle scuole (formale-permanente).

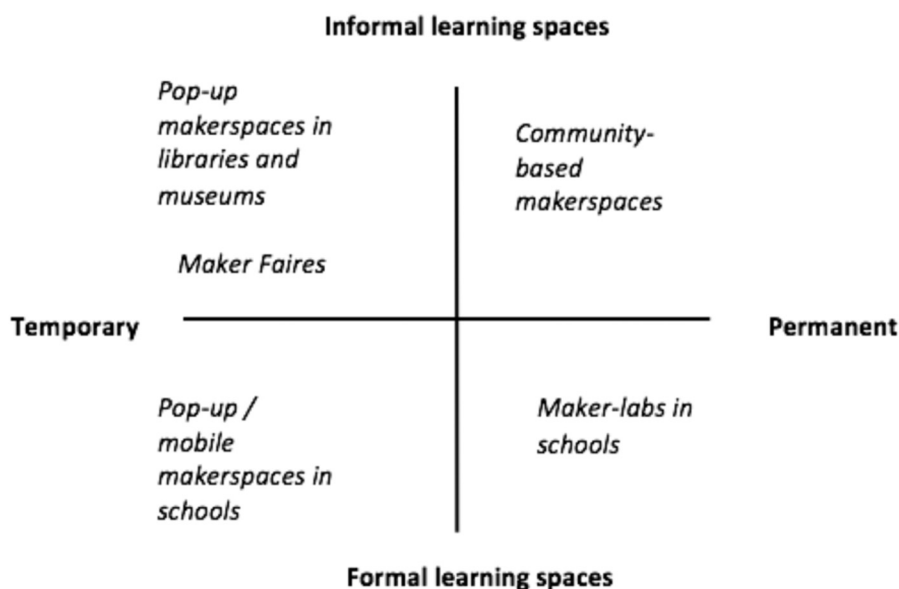


Fig. 3 – Tipologie di makerspace.  
Fonte: Marsh et al., 2017, p. 61.

I modelli di apprendimento veicolati dalle varie tipologie di makerspace sono di natura molto differente. Tuttavia, Marsh sottolinea l’indefinitezza dei confini delle quattro aree. Infatti, nei makerspace scolastici è possibile adottare un approccio informale all’apprendimento, simile a quello delle biblioteche e dei musei e, viceversa, le attività maker intraprese in contesti informali possono essere affrontate con scopi e metodi didattici.

I makerspace scolastici si differenziano, a loro volta, in base all’utenza coinvolta e alla loro organizzazione. A seconda delle necessità e delle risorse presenti, nelle scuole possono essere organizzate varie tipologie di makerspace, tra cui:

- makerspace pop-up: sono i makerspace più semplici da organizzare, poiché gli strumenti e i materiali vengono esposti solo quando necessario per poi riporli in appositi contenitori mobili. Ne sono un esempio il furgone mobile *Maker{Move}*<sup>14</sup> e le *Maker{Boxes}*<sup>15</sup>, ideati dall’Università di Sheffield, o gli appositi carrelli che possono essere trasferiti tra le diverse classi e aree della scuola per supportare le attività

<sup>14</sup> <https://makerfutures.org/?strand=makermove>.

<sup>15</sup> <https://makerfutures.org/programme/maker-box-project/>.

maker. I makerspace pop-up risultano molto funzionali anche per attività da svolgere nella pausa pranzo e nel doposcuola;

- l'angolo del Maker: si tratta di un piccolo spazio permanente adibito in aula per le attività maker. Può essere sfruttato per lavori collettivi o in piccoli gruppi, ma anche per consentire agli alunni un'esplorazione libera e meno strutturata. Inoltre, la presenza di uno spazio "fisso" in aula e il frequente svolgimento di attività maker permette agli studenti di percepire tali attività come parte integrante del loro apprendimento;
- makerspace scolastico dedicato: si tratta di un makerspace appositamente costruito o adattato a partire da ampi spazi presenti all'interno di scuole con risorse avanzate. Questo tipo di makerspace è frequentemente allestito nelle biblioteche, nelle aule d'arte o di informatica e può ospitare attrezzature specializzate spesso suddivise in aree definite. Un vantaggio di questi ambienti dedicati è quello di fornire uno spazio di "deposito" dei progetti parzialmente completati così da permettere agli studenti di riprenderli e terminarli in un secondo momento (The University of Sheffield, 2021).

La letteratura evidenzia il notevole potenziale di tali spazi in ambito formativo. Accanto alla riduzione dell'assenteismo scolastico (Saorín *et al.*, 2017), gli studiosi convergono nel sottolineare il miglioramento del rendimento e la promozione di conoscenza, soprattutto per le discipline scientifiche (Halverson & Sheridan, 2014; Martin, 2015; Sheridan *et al.*, 2014; Saorín *et al.*, 2017). Un rapporto del progetto internazionale Horizon NMC<sup>16</sup> richiama i makerspace tra i principali acceleratori dell'adozione della tecnologia nell'educazione k-12 e ne riconosce il potenziale nel favorire l'*agency* dei giovani rispetto al cambiamento della propria comunità (Johnson *et al.*, 2015). La condivisione di conoscenza può incoraggiare la formazione di comunità digitali di pratica e di un'*agency* relazionale (Edwards, 2005). Ne consegue la centralità dei processi emotivi, relazionali e culturali che caratterizzano l'agire in questi spazi (Kumpulainen, 2017). Gli studiosi pongono quindi l'accento sulla dimensione sociale dei makerspace, sull'opportunità di condivisione (Hatch, 2013), di solidarietà (Petrich, Wilkinson, & Bevan, 2013) e di sviluppo delle capacità sociali ed emotive (Marsh *et al.*, 2017).

Tuttavia, in Europa, i makerspace progettati assumendo i bambini come unico o principale gruppo target sono meno comuni e studiati rispetto a quelli pensati per un'utenza adulta (Peppler, Halverson, & Kafai, 2016; Schön, Ebner, & Grandl, 2020). Diffondere makerspace e making nelle scuole, in particolare per la fascia k-12, è attualmente un obiettivo educativo globale

<sup>16</sup> <http://www.nmc.org/nmc-horizon/>.

(Crichton & Childs, 2016), ma rappresenta al contempo una sfida, richiedendo un processo di realizzazione e progettazione più definito rispetto ai makerspace informali (Vongkulluksn *et al.*, 2018).

A livello internazionale e nazionale troviamo numerosi enti attivi nella diffusione di tali spazi nei contesti scolastici, tra cui i già citati *Fab Foundation* e *TIES*, e molte altre organizzazioni e gruppi di lavoro diffusi in tutto il mondo.

In Italia, a livello normativo, un impegno specifico verso l'innovazione degli ambienti di apprendimento è sicuramente rintracciabile a partire dalla legge 107 del 2015 La Buona Scuola (MIUR, 2015a) e dal suo pilastro fondamentale, il PNSD (MIUR, 2015b). Quest'ultimo, infatti, pensato per indirizzare le scuole verso un percorso di innovazione e digitalizzazione, si regge su quattro assi fondamentali (strumenti, competenze/contenuti, formazione, accompagnamento), a loro volta articolati in obiettivi ciclici raggiungibili attraverso 35 azioni specifiche.

All'interno del primo asse, troviamo una sezione dedicata a spazi ed ambienti per l'apprendimento in cui si legge:

Occorre invece che l'idea di spazi, a partire dagli interventi a favore dell'edilizia scolastica, e includendo una riconfigurazione funzionale degli ambienti per l'apprendimento, vadano nella direzione di una visione sostenibile, collaborativa e aperta di scuola. In cui didattica e progettualità possano avvenire ovunque, in cui spazi comuni e ambienti collaborativi giochino un ruolo centrale. A questo 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, 2015b, p. 28).

Tra le azioni del PNSD dedicate a tale obiettivo, assume particolare rilevanza l'azione #7, finalizzata a un "Piano per l'apprendimento pratico" o "Piano Laboratori". Da essa deriva, infatti, una serie di bandi nazionali volti a sostenere la costruzione e lo sviluppo di ambienti di apprendimento innovativi, come "Atelier creativi"<sup>17</sup> (2016), "Ambienti di apprendimento innovativi"<sup>18</sup> (2018) e "Laboratori didattici innovativi"<sup>19</sup> (2018).

Nei bandi si individuano due modelli di atelier creativi, sintetizzati da Garzia e Mangione (2017, p. 52):

- atelier a bassa specializzazione e ad alta flessibilità: un ambiente generico, caratterizzato dall'utilizzo di strumenti digitali e analogici in base alle necessità didattiche e orientato alla creatività e allo sviluppo di

<sup>17</sup> [https://www.istruzione.it/scuola\\_digitale/prog-atelier.shtml](https://www.istruzione.it/scuola_digitale/prog-atelier.shtml).

<sup>18</sup> [https://www.istruzione.it/scuola\\_digitale/ambienti\\_apprendimento\\_innovativi.shtml](https://www.istruzione.it/scuola_digitale/ambienti_apprendimento_innovativi.shtml).

<sup>19</sup> [https://www.istruzione.it/pon/avviso\\_laboratori-didattici-innovativi.html#sec\\_pro](https://www.istruzione.it/pon/avviso_laboratori-didattici-innovativi.html#sec_pro).

competenze trasversali tramite attività di *tinkering* o costruzione di oggetti (ad esempio piccoli FabLab nella scuola);

- atelier ad alta specializzazione e a bassa flessibilità: un ambiente tematico con connotazioni specifiche, caratterizzato dall'integrazione di strumenti e tecnologie e orientato a specifici bisogni e attività (fabbricazione digitale, robotica, energia sostenibile, artigianato, arte, musica, ecc.).

Negli stessi anni, in occasione di un convegno internazionale, l'INDIRE (2016) presenta il "Manifesto 1 + 4" (Borri, 2016) sugli spazi innovativi per le scuole del terzo millennio. Il manifesto premia la flessibilità, la continuità e l'apertura degli spazi al fine di superare la rigida visione della scuola come somma di aule (Airoldi, 1978) e valorizzare il contesto sociale e la sua influenza sulla qualità delle relazioni (Leemans & von Ahlefeld, 2013). Nello specifico, "1" sta ad indicare lo spazio di gruppo, l'ambiente di apprendimento del gruppo-classe polifunzionale, flessibile ed aperto alla scuola e all'esterno. Il "4" si riferisce invece agli spazi della scuola complementari agli ambienti della didattica quotidiana: l'agorà, lo spazio informale, l'area individuale e l'area per l'esplorazione.

Qualche anno dopo, a seguito di alcuni studi di caso condotti in Italia e in Europa e sulla scia delle linee guida europee per i makerspace (Attewell, 2020), l'INDIRE ha poi elaborato il "*Makerspace Manifesto*"<sup>20</sup> (Nulli, 2021) per le scuole del primo ciclo. Questo secondo manifesto punta a promuovere una possibile sinergia tra la cultura del making e quella della scuola, cercando di coniugare l'organizzazione, le metodologie e le esigenze curriculari della scuola con le peculiarità della cultura e della pedagogia Maker. Al fine di instaurare una collaborazione proficua ed efficace per una nuova metodologia didattica fortemente attiva, i due mondi dovrebbero concordare su tre dimensioni:

1. riconoscere la complessità del mondo (creare collegamenti e formare il punto di vista). Il focus è sulla realtà vista come sistema non semplificabile o generalizzabile, caratterizzato da un sapere parziale e reticolare. La conoscenza specialistica, divisa in argomenti approfonditi, non è in grado di cogliere appieno il "complesso". Ciò rende necessario un cambiamento nei paradigmi della conoscenza e un approccio interdisciplinare e pratico (Nulli, 2021);
2. valorizzare il sapere (circolazione e autonomia di costruzione). Il focus è sul contenuto della collaborazione, ossia i saperi e la loro diffusione e costruzione. La scuola dovrebbe proporre situazioni problematiche e progetti atti a favorire la costruzione autonoma degli studenti, mentre i

<sup>20</sup> <https://maker.indire.it/>.

makers si impegnano a curare la libera circolazione dei saperi, attraverso *open-source* e *open-hardware*;

- interagire con spazio ed oggetti (artefatti intelligenti e spazio significativo). Il focus è sull'esplorazione dello spazio e degli oggetti come mezzo di apprendimento. La costruzione di artefatti avviene in spazi reali, la cui organizzazione veicola precise metodologie e attività didattiche.

Il Manifesto intende dunque fornire delle indicazioni alle scuole affinché siano in grado di approcciarsi in maniera consapevole ai makerspace, intesi come *hub* di sperimentazione dove le "attitudini maker" incontrano la didattica attiva e laboratoriale. Il makerspace scolastico, infatti, va a declinare lo spazio di esplorazione presente nel modello "1 + 4", configurandosi come uno spazio di azione per lo studente, la cui efficacia è legata al dialogo tra scuola e makers. In particolare, viene riportato un modello sostenibile (Fig. 4) che illustra le dinamiche di scambio e i reciproci vantaggi che il sistema scuola e un ente maker (un'associazione, un FabLab, un gruppo di makers) possono trarre da una preziosa interazione tra le parti.

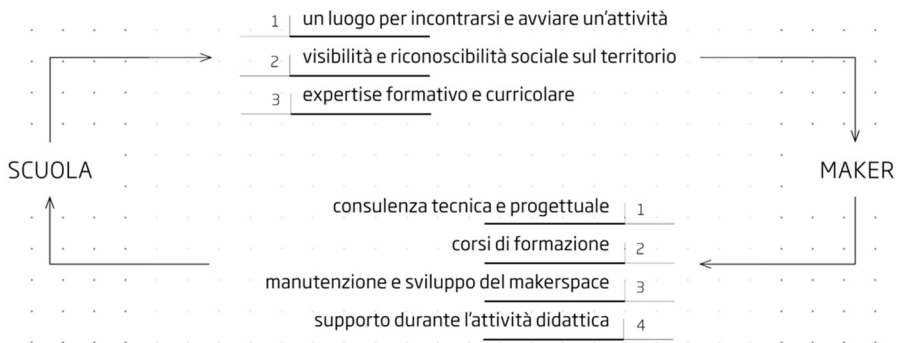


Fig. 4 – Il modello sostenibile, reciproci vantaggi.

Fonte: Makerspace Manifesto, p. 11.

I makerspace fungono da modello per la progettazione di comunità e spazi creativi orientati all'innovazione e all'imprenditorialità. L'accesso a un'ampia gamma di strumenti e materiali e a uno spazio comune per la progettazione può rivelarsi un fattore chiave per promuovere la creatività in questi spazi (Peppler, 2022). I makerspace si allontanano da attività predefinite con risultati specifici e si orientano verso dinamiche aperte di *tinkering* e sperimentazione di materiali, suggerendo processi di progettazione innovativi. La pluralità degli strumenti utilizzati nei

makerspace genera, inoltre, nuovi domini creativi con implicazioni per l'imprenditorialità e la società ancora da esplorare. L'emergere di tali domini solleva domande sulla natura della creatività e, di conseguenza, sul modo in cui essi si confrontano con i domini storici delle arti o di altri settori (Peppler, 2022).

## 2.4 Low-tech e high-tech making

Come anticipato, i makerspace sono progettati per fornire una varietà di strumenti e materiali, collocando le innovazioni *high-tech* accanto agli strumenti di fabbricazione tradizionali e a molteplici forniture artigianali. Essi consentono infatti il coinvolgimento nelle materie STEAM attraverso l'esperienza diretta e l'assortimento di materiali *high* e *low-tech* (Martinez & Stager, 2013).

La *low technology* (o *low-tech*) è una tecnologia semplice ed economica, che può essere prodotta ed utilizzata da chiunque. Essa fa riferimento a materiali e strumenti poco costosi presenti nella vita quotidiana e spesso usati per scopi pratici. Il termine può essere applicato anche alla vecchia tecnologia divenuta obsoleta.

L'*high technology* (o *high-tech*), conosciuta anche come *frontier tech* (tecnologia di frontiera), indica invece la tecnologia più avanzata e all'avanguardia sul mercato (Steenhuis & De Bruijn, 2006). Si tratta pertanto di una tecnologia complessa che richiede spesso una specifica formazione per essere utilizzata (Monem, Bennett, & Barbetta, 2018). Esempi di queste tecnologie includono la robotica, l'intelligenza artificiale, i veicoli autonomi, la tecnologia *blockchain*, i droni, le stampanti 3D, i *laser cutters* e la realtà virtuale e aumentata.

In campo educativo, pratiche e materiali didattici *low-tech* e *high-tech* sono identificati come tecnologie per facilitare il processo di apprendimento degli studenti (Twyman & Heward, 2016). Le stesse metodologie tinkering e making si fondano sulla combinazione di questi due tipi di tecnologie. Il *learning by making* non deve necessariamente far uso di macchine ad alta tecnologia (Martinez & Stager, 2013).

A seconda del tema e del livello di specializzazione, i makerspace possono offrire strumenti e tecnologie *high-tech* e/o *low-tech*. La maggior parte dei makerspace *high-tech* accoglie stampanti 3D, scanner 3D, *laser cutters*, hardware e software per coding e realtà virtuale/aumentata, ma anche

kit elettronici come Arduino<sup>21</sup>, Raspberry Pi<sup>22</sup>, Makey Makey<sup>23</sup>, Little Bits<sup>24</sup> e i kit LEGO<sup>25</sup> (Okuonghae & Nkiko, 2021). I makerspace *low-tech*, invece, possono includere macchine per cucire, attrezzi per saldare e circuiti accompagnati da forniture *no-tech* per arti e craft come cartone, strumenti per lavorare a maglia e all’uncinetto, tessuto, perline, argilla, polistirolo, pittura, ingranaggi, elastici in gomma colorati, kit di costruzione o bioplastica. Tale assemblaggio di materiali, oltre a generare pratiche ibride, impatta fortemente sugli utenti, consentendo non solo di realizzare nuovi progetti e invenzioni tecnologiche, ma anche di testare modi diversi per raggiungere i propri risultati (Okuonghae & Nkiko, 2021). I makerspace forniscono infatti nuove forme di alfabetizzazione utili ad esplorare efficacemente vari tipi di tecnologia e sviluppare differenti prospettive e domini creativi (Okuonghae & Nkiko, 2021; Peppler, 2022). Un esempio molto diffuso di questa intersezione tra alta e bassa tecnologia sono gli *e-textiles*, indumenti programmabili che impiegano microcontrollori indossabili, filo conduttivo, sensori e attuatori, dispositivi di assistenza o di monitoraggio della salute e altro ancora (Buechley, 2006).

Gli studenti che si sentono particolarmente intimiditi dai componenti elettronici potrebbero prediligere, come punto di partenza, metodi tradizionali e materiali più familiari e quindi in grado di creare un livello di comfort adeguato a prototipare e costruire qualcosa. La formulazione del compito e la disponibilità di materiali versatili sono fattori chiave per coinvolgere gli studenti nelle attività maker (Vuopala *et al.*, 2020).

Martinez e Stager (2013) sostengono che grandi progetti di costruzione sono possibili con strumenti a bassa tecnologia, poco costosi e di uso comune. La crescente popolarità del making ha portato infatti a molte innovazioni *low-tech* per promuovere l’apprendimento pratico. Le nuove tecnologie risulterebbero così migliorate dall’aggiunta di quelli che gli autori definiscono «*low-tech treasure*», generando una bellissima armonia: «*The old and the new, high- and low-tech make such beautiful music!*» (Martinez & Stager, 2013, p. 113). Le forniture artistiche e l’elettronica sono quindi considerati perfetti “alleati” per le invenzioni *high-tech*.

In linea con quanto detto, nel 2009 al MIT Media Lab nasce il gruppo di ricerca *High-Low Tech*<sup>26</sup> (HLT), rimasto operativo fino al 2014. L’intento era quello di coinvolgere un pubblico variegato nel progettare e costruire le

<sup>21</sup> <https://www.arduino.cc/>.

<sup>22</sup> <https://www.raspberrypi.com/>.

<sup>23</sup> <https://makeymakey.com/>.

<sup>24</sup> <https://sphero.com/pages/littlebits>.

<sup>25</sup> <https://education.lego.com/en-us>.

<sup>26</sup> <https://www.media.mit.edu/groups/high-low-tech/overview/>.



proprie tecnologie, situando il computing in nuovi contesti culturali e materiali e democratizzando l'ingegneria. Il lavoro dell'HLT integrava quindi materiali e processi ad alta e bassa tecnologia per esplorare l'intersezione di computazione, materiali fisici, manufacturing, artigianato tradizionale e design. Sul relativo sito gli studiosi presentano una serie di famosi progetti che combinano l'artigianato tessile, l'ingegneria elettrica e la programmazione.

Nell'ultimo decennio, si assiste all'utilizzo crescente di strumenti e applicazioni tecnologiche sempre più *high* nella pratica di insegnamento e apprendimento, soprattutto dell'istruzione superiore (Byrne, 2015). Si diffondono dunque numerosi studi volti a comparare gli effetti delle strategie *low* e *high-tech* sugli studenti, specialmente per fini inclusivi (Nicol *et al.*, 2018; Monem, Bennett & Barbetta, 2018) o a valutare le ricadute della loro integrazione (Zhang & Hung, 2007; Gibau, Kissel, & Labode, 2019). Da tali studi non emergono differenze significative tra le due condizioni; approcci di apprendimento attivo risulterebbero infatti alimentati da un uso efficace di tecnologie sia *low* che *high*.

La letteratura ricorda però l'importanza di un'adozione critica e consapevole delle tecnologie, piuttosto che l'accettazione diffidente di «“iniezioni tecnologiche virali” imposte dall'alto» (Ranieri, 2021, p. 84). La scuola dovrebbe essere partecipe delle pratiche tecnologiche dei suoi studenti e padroneggiare le tecnologie di cui dispone, così da adattare alle proprie esigenze e favorire processi di apertura, riflessione e distanziamento per una vita scolastica più umana (Ranieri, 2021).

In accordo con Ertmer e Ottenbreit-Leftwich (2013), è necessario privilegiare un approccio all'integrazione della tecnologia guidato dalla pedagogia, piuttosto che dalla tecnologia stessa. L'uso della tecnologia deve essere progettato per supportare gli obiettivi di apprendimento, e non viceversa, spostando l'attenzione dall'integrazione tecnologica (e dagli strumenti utilizzati per realizzarla) all'apprendimento abilitato dalla tecnologia (e alla pedagogia utilizzata per sostenerlo).

Come già espresso in precedenza, la formazione e la postura degli insegnanti assumono indubbiamente un ruolo cruciale rispetto all'implementazione della tecnologia. I formatori possono essere infatti scoraggiati dalla quantità di auto-formazione richiesta, dai cambiamenti nello stile di insegnamento e dai ritorni immediati che spesso le istituzioni si aspettano irrealisticamente (Nicol *et al.*, 2018).

## 2.5 La robotica educativa

Tra le principali tecnologie a supporto dell'educazione Maker e STEAM spicca indubbiamente la RE, configurandosi come una delle tendenze dominanti nel panorama educativo contemporaneo di tutto il mondo (Cuartielles *et al.*, 2020). Sebbene la RE abbia preceduto il movimento Maker, entrambi condividono radici pedagogiche comuni e una simile visione dell'educazione volta a consentire agli studenti di creare i propri artefatti (robotici o meno) utilizzando le tecnologie del XXI secolo. Il legame tra movimento Maker e RE ispira attualmente modi innovativi di sfruttare le tecnologie come “veicoli” educativi per generare nuove modalità di apprendimento dentro e fuori la scuola. La RE, potenziata dall'approccio Maker, si sta così rivelando un campo di sviluppo e sperimentazione sempre più fruttuoso per i contesti educativi formali e informali, sollecitando un crescente interesse tra ricercatori e educatori in ambito intra ed extra europeo (Moro, Alimisis, & Iocchi, 2018).

Le origini della robotica si riconducono al 1920, quando lo scrittore ceco Karel Čapek pubblica il dramma fantascientifico *R.U.R. – Rossum's Universal Robots*. In quest'opera, infatti, compare per la prima volta il termine ‘robot’ (in ceco *robota*) per designare gli automi che lavorano al posto degli operai. Nel corso degli anni, l'accezione del termine si estende per comprendere dispositivi meccanici ed elettrici, sempre più specializzati, utilizzati per una varietà di scopi e settori.

La letteratura sul tema è imponente ed in continua evoluzione, grazie ai costanti avanzamenti tecnologici, alle crescenti sperimentazioni e alle numerose opportunità di scambio “fertile” tra esperti di vari settori in sede di convegni o progetti internazionali. Il forte interesse riscosso tra i differenti ambiti disciplinari, dall'informatica alla psicologia, ha infatti portato la robotica ad essere considerata “scienza di sintesi” tra il sapere scientifico e umanistico (Marcianò, 2007).

In campo educativo, un notevole impulso alla diffusione della robotica si rintraccia a partire dagli anni Sessanta, grazie al lavoro di Piaget (Piaget & Inhelder, 1966), di Vygotsky (1978) e di Papert e dei suoi colleghi del MIT (Papert, 1980). In particolare, Papert fu un fermo sostenitore della necessità di lavorare sul pensiero computazionale dei bambini, arrivando a sviluppare nel 1967 un apposito linguaggio di programmazione a scopo didattico e orientato all'infanzia, noto come LOGO (Papert, 1983; 1984). Altri linguaggi di programmazione successivi, come *Scratch* (vedi par. 2.5.1), hanno contribuito a sviluppare l'alfabetizzazione alla programmazione informatica, rendendo la tecnologia più accessibile agli studenti di tutte le età.

Secondo Daniela, Strods e France (2019, p. 252) oggi si distinguono tre direzioni principali nella robotica: *industrial robots*, *educational robots* e *assistive robots*. Scaradozzi, Screpanti e Cesaretti (2019) presentano invece una classificazione più ampia, partendo dalla distinzione tra Robotica in Educazione (RiE) e Robotica Educativa (RE). Gli autori, infatti, considerano quest'ultima un sottoinsieme o campo specifico della prima macrocategoria, che include tutti i robot a servizio della persona e si differenzia in base a quattro parametri: l'ambiente di apprendimento (formale / non formale), l'impatto sul curriculum scolastico (curricolare / non curricolare), la modalità di valutazione (metodi qualitativi / quantitativi / *mixed*) e l'integrazione del robot nell'attività. A seconda dello scopo di integrazione in campo educativo, i robot si suddividono in:

- *assistive robots* (o robot di assistenza) utilizzati a scopo compensativo per supportare soggetti con disabilità fisiche nelle attività quotidiane, contribuendo così al benessere e all'inclusione;
- *socially assistive robots* (o robot socialmente assistivi) volti ad assistere soggetti con disabilità di tipo sociale (come il disturbo dello spettro autistico) nell'interazione sociale, piuttosto che fisica;
- *social robots* (o robot sociali) progettati per interagire con i soggetti in modo naturale e interpersonale fungendo da tutor o partner e creando ambienti di apprendimento interattivi e collaborativi;
- *educational robots* (o robot educativi) generalmente kit robotici progettati per studiare la robotica e le materie STEAM attraverso percorsi interdisciplinari significativi, sviluppando competenze tecnologiche e disciplinari e le cosiddette *hard* e *soft skills*<sup>27</sup>.

Il fine e la modalità di integrazione degli strumenti robotici distinguerebbero dunque una generica attività di RiE da un'apposita attività di RE.

Interessante è inoltre la lettura di Bizzarri (2021) che propone tre diverse accezioni di robot. Nella prima accezione, il robot è concepito come un "oggetto tecnologico" ovvero come un dispositivo elettromeccanico

<sup>27</sup> Le cosiddette *hard skills* vengono associate alle competenze "tecniche" (ad esempio capacità linguistiche, informatiche e di programmazione) generalmente apprese durante un percorso di studi, la frequentazione di un corso specifico o una precedente esperienza lavorativa. Il loro raggiungimento comporta un elevato livello di competenza nel particolare dominio di conoscenza, dimostrabile attraverso l'esibizione di un attestato o certificato, ed è funzionale all'assunzione di incarichi e allo svolgimento di professioni. Al contrario, le *soft skills*, o competenze trasversali, sono associate a abilità e competenze generiche che non rientrano nell'ambito tecnico e non sono dunque ritenute concettualmente difficili. Esse riguardano abilità soggettive, di tipo relazionale e comportamentale e possono essere acquisite attraverso l'esperienza. Tuttavia, proprio a causa della loro natura, esse risultano talvolta difficili da dimostrare (Chell & Athayde, 2011).

programmabile in grado di eseguire compiti in maniera autonoma. La seconda accezione si riferisce al robot come un “oggetto culturale” ovvero come un «significato condiviso incorporato in una forma» (Griswold, 2005, p. 26). Infine, la terza vede il robot come un “oggetto cognitivo” ovvero un «oggetto con cui pensare» (Papert, 1980).

Un’ulteriore riflessione critica sul tema è proposta da Bozzi e Merisio (2021). Le autrici, a fronte di un’accurata revisione letteraria, riportano varie definizioni della RE, talvolta distanti tra loro. L’espressione RE viene infatti utilizzata per indicare una pratica di insegnamento (Komis, Romero, & Misirli, 2017), una disciplina oggetto di insegnamento o uno strumento (Ioannou & Makridou, 2018), un *mindtool* (Mikropoulos & Bellou, 2013) o un veicolo per l’insegnamento e l’apprendimento (Angel-Fernandez & Vincze, 2018). Tuttavia, le autrici evidenziano l’ambiguità di tali definizioni e l’apparente errore categoriale derivante dall’uso dell’aggettivo “educativo”. A tal proposito, ritengono invece “ontologicamente adeguato” definire la RE, al pari della robotica *tout court*, come un’area di ricerca (Scaradozzi *et al.*, 2015; Angel-Fernandez & Vincze, 2018) che, in quanto tale, si occupa delle applicazioni educative e didattiche dei robot.

Infine, Gaudiello e Zibetti (2013) definiscono la RE come un nuovo campo di ricerca all’incrocio tra psicologia, scienze dell’educazione e intelligenza artificiale nato dalla relazione tra innovazione tecnologica e pedagogica.

Nonostante la mancanza di accordo sulla definizione di RE, si rileva un evidente consenso sul suo potenziale in ambito educativo, nonché su sfide e questioni aperte legate alla sua implementazione a scuola, tra cui la formazione di insegnanti e futuri insegnanti.

### 2.5.1 La robotica educativa a scuola

La ricerca e le attività RE si stanno ormai estendendo a tutti i livelli di istruzione: dalla prima infanzia (si vedano ad esempio Eguchi, 2007; Kazakoff & Bers, 2012; Scaradozzi *et al.*, 2015; Misirli, Komis, & Ravanis, 2019; Eteokleous, Nisiforou, & Christodoulou, 2020; Gratani *et al.*, 2021) all’istruzione superiore (si vedano ad esempio Grover, 2011; Xenos *et al.*, 2017; Tan *et al.*, 2019).

Nello specifico, tra i robot prevalentemente utilizzati, a partire dalla scuola d’infanzia, nel primo ciclo di istruzione troviamo: *Cubetto*<sup>28</sup>, *Bee Bot*

<sup>28</sup> <https://www.primotoys.com>.

o *Blue Bot*<sup>29</sup>, *DOC*<sup>30</sup>, *Dash&Dot*<sup>31</sup>, *LEGO® Education WeDo 2.0*<sup>32</sup>, *LEGO® Education SPIKE™ Essential*<sup>33</sup> o *Prime*<sup>34</sup>, *mBot*<sup>35</sup>, *LEGO® Mindstorms® EV3*<sup>36</sup>.

Tali robot si distinguono per il grado di sofisticatezza e per la modalità di programmazione. La programmazione del robot, infatti, può essere effettuata in due modi: tramite un'interfaccia posta sul corpo del robot o tramite dispositivi esterni (ad esempio smartphone, tablet, computer) connessi al robot via cavo o bluetooth/Wi-Fi. Nel primo caso, è possibile fornire semplici istruzioni al robot (ad esempio avanti, indietro, gira a destra, gira a sinistra, pausa) sfruttando i tasti o tasselli presenti nella sua interfaccia. La tangibilità dell'interfaccia e del robot (in genere *floor robot*) consente quindi di manipolare l'artefatto tecnologico e di interagire con esso (Di Stasio & Nulli, 2021), facilitando un approccio a tali attività fin dalla più tenera età (Firth, 2014). Nel secondo caso, invece, si richiede il collegamento ad un dispositivo esterno e l'utilizzo di un'apposita applicazione per costruire un codice "visibile" con cui fornire istruzioni più complesse. Quest'ultima tipologia di robot, infatti, è generalmente dotata di motori e di sensori in grado di rilevare variabili come: distanza da un oggetto, presenza di un determinato colore o luce lungo il percorso, grado di inclinazione, livello di rumore/volume acustico, e così via. L'utilizzo di questi valori consente di condizionare le azioni che il robot deve eseguire, rendendo il codice più articolato e complesso.

Un'altra variabile da considerare nell'utilizzo della RE riguarda il linguaggio di programmazione. Si distinguono infatti due principali tipologie di linguaggio: testuale e visuale. Nella prima tipologia la scrittura di codice avviene mediante degli editor di testo e le istruzioni sono rappresentate da vocaboli (generalmente inglesi) scritti in sequenze e organizzati in uno o più file. Essa è utilizzata dai programmatori e richiede una solida conoscenza di base e una grande capacità di astrazione, tali da renderla paragonabile ad una lingua straniera. Come per l'apprendimento di una lingua straniera, infatti, la programmazione testuale presuppone lo studio della sintassi scritta specifica e quindi la familiarizzazione con i suoi "vocaboli" per poter comunicare correttamente ed evitare errori di digitazione che possono condurre ad una

<sup>29</sup> <https://www.terrapiologo.com/>.

<sup>30</sup> <https://it.clementoni.com/products/doc>.

<sup>31</sup> <https://www.makewonder.com/robots/dash/>.

<sup>32</sup> <https://education.lego.com/en-us/products/lego-education-wedo-2-0-core-set/45300#wedo-20>.

<sup>33</sup> <https://www.lego.com/en-us/product/lego-education-spike-essential-set-45345>.

<sup>34</sup> <https://www.lego.com/en-us/product/lego-education-spike-prime-set-45678>.

<sup>35</sup> <https://store.makeblock.com/collections/diy-robot-kits>.

<sup>36</sup> <https://www.lego.com/en-us/product/lego-mindstorms-ev3-31313>.

errata esecuzione. Per ovviare a queste difficoltà, a partire dagli anni Sessanta, è stato introdotto il linguaggio di programmazione visuale (VPL) o di rappresentazione grafica. In questo caso, la programmazione avviene attraverso lo spostamento e l'ordinamento di una serie di oggetti grafici per costruire delle sequenze di comandi. La costruzione del codice si basa sulla manipolazione grafica degli elementi e segue la logica dell'incastro tipica dei puzzle. Ogni blocco corrisponde a un'istruzione da eseguire ed è caratterizzato da una specifica forma e da un dato colore che rimandano ad una precisa categoria (ad esempio movimento, aspetto, ecc.) e tipologia di comando (ad esempio input, output, ecc.). L'editor rileva l'eventuale incompatibilità logica degli elementi e lo segnala acusticamente o visivamente. Ciò riduce notevolmente il livello di astrazione tipico del linguaggio testuale, rendendo la programmazione molto più intuitiva e accessibile. Il vantaggio dei VPL risiede quindi nella possibilità di programmare senza focalizzarsi sulla sintassi, ma piuttosto sull'obiettivo da raggiungere e sull'apprendimento di alcuni costrutti base, come cicli, condizioni e variabili. I VPL possono essere ulteriormente classificati in base all'espressione visuale utilizzata, che varia tra icone, moduli e diagrammi. Tra i vari ambienti con VPL utilizzati in ambito didattico, *Scratch*<sup>37</sup> è indubbiamente il più famoso e diffuso. *Scratch* è un ambiente di programmazione gratuito con un linguaggio di tipo grafico che consente anche ai meno esperti di realizzare, in maniera molto semplice ed intuitiva, storie interattive, animazioni e giochi. La prima versione nasce nel 2006 al MIT di Boston per opera del gruppo di ricerca *Lifelong Kindergarten* guidato da Mitchel Resnick<sup>38</sup> con l'intento di fornire ai ragazzi tra gli 8 e i 16 anni un modo semplice e divertente per imparare a programmare. *Scratch* viene rilasciato gratuitamente come software/app disponibile per MacOS, Windows, Android e ChromeOS, ed è utilizzabile direttamente anche da browser. È inoltre disponibile la versione app gratuita *ScratchJr*<sup>39</sup> per iPads, tablets Android e Chromebooks., dedicata ai bambini tra i 5 e i 7 anni.

Nel panorama internazionale, risulta significativo segnalare due pubblicazioni della Commissione Europea: il DigComp 2.1 (Carretero,

<sup>37</sup> <https://scratch.mit.edu/>.

<sup>38</sup> Tra i maggiori esperti di tecnologie educative, Mitchel Resnick è docente in *Learning Research* al MIT Media Lab di Boston. Qui ha acquisito fama internazionale per la direzione del gruppo di ricerca *Lifelong Kindergarten*, impegnato nella creazione di strumenti e attività per promuovere l'apprendimento creativo attraverso le nuove tecnologie (Resnick, 2017) e per la titolarità della cattedra LEGO®, con cui ha lavorato a stretto contatto per oltre 30 anni. Egli ha inoltre collaborato assieme al suo team all'ideazione di *Scratch* e allo sviluppo della tecnologia *programmable brick* (letteralmente, 'mattone programmabile') che ha ispirato il kit di robotica LEGO® Mindstorms.

<sup>39</sup> <https://www.scratchjr.org/>.

Vuorikari, & Punie, 2017), il quadro di riferimento sulle competenze digitali dei cittadini in cui si presentano otto livelli di competenza ed esempi di utilizzo nel campo dell'apprendimento e dell'occupazione, e il DigCompEdu (Redecker, 2017), il quadro di riferimento sulle competenze digitali degli insegnanti a servizio di governi ed enti formativi per implementare strumenti e programmi di formazione regionali e nazionali.

Nel panorama italiano, una spinta importante per l'introduzione della robotica nell'istruzione k-12 arriva dalla già citata legge 107 del 2015, La Buona Scuola (MIUR, 2015a) e dall'annesso PNSD (MIUR, 2015b). In particolare, l'azione #7 sul "Piano Laboratori" è volta alla creazione di «scenari didattici costruiti attorno a robotica ed elettronica educativa, logica e pensiero computazionale, artefatti manuali e digitali, *serious play* e *storytelling*» (MIUR, 2015b, p. 50). A seguire, le azioni #15 e #17 risultano orientate alla creazione di scenari innovativi per lo sviluppo di competenze digitali applicate e all'ampliamento dell'offerta formativa degli studenti attraverso:

un quadro più ampio rivolto allo sviluppo del pensiero computazionale, usando piattaforme e linguaggi diversi, con o senza il computer, adatti a tutti gli ordini e gradi d'istruzione. A questo scopo, la robotica educativa, i percorsi unplugged (senza l'uso del PC), le interazioni tra programmazione a blocchi e schede, la programmazione di droni o stampanti 3D possono essere efficacemente integrati in percorsi didattici interdisciplinari per lo sviluppo delle competenze (MIUR, 2015b, p. 77).

L'interesse per le competenze digitali viene ripreso poi nelle Indicazioni Nazionali del 2018 (MIUR, 2018), in cui un intero paragrafo è dedicato al pensiero computazionale, alla sua padronanza e alla sua applicazione consapevole nei problemi della vita quotidiana e in contesti di gioco educativo come quelli offerti dalla robotica.

### 2.5.2 Potenzialità e sfide

L'imponente ricerca sul campo, se da un lato ha messo in luce la varietà di interpretazioni attorno alla RE, dall'altro ha contribuito a far emergere con chiarezza le sue numerose potenzialità. Quest'ultime sono riferibili in particolar modo alla promozione della comprensione concettuale scientifica e dell'alfabetizzazione tecnologica degli studenti, allo sviluppo di abilità cognitive e metacognitive legate alla soluzione dei problemi, allo stimolo di quelle creative e alla fruizione di un ambiente di apprendimento stimolante sia per gli studenti che per gli insegnanti, fondato su un approccio *embodied*, costruttivista ed enattivo. Tale approccio sollecita, di conseguenza, anche le

abilità socio-relazionali e collaborative e le componenti emotivo-motivazionali degli alunni, generando un terreno estremamente fertile per i processi inclusivi.

Un primo vasto filone di ricerca si è concentrato infatti sull'utilizzo della RE per facilitare l'apprendimento delle discipline STE(A)M, dimostrando che la robotica ha il potenziale per migliorare la comprensione concettuale scientifica e l'alfabetizzazione tecnologica degli studenti. Daniela e Strods (2019) affermano che attività pratiche fondate su principi di apprendimento attivo hanno un'influenza positiva sulla conoscenza della matematica, della fisica e delle tecnologie dell'informazione dei partecipanti, oltre a migliorare le loro capacità di cooperazione. Nello specifico, Khanlari (2019) sostiene che la RE può fornire un metodo di insegnamento alternativo alle lezioni tradizionali per migliorare la comprensione dei concetti matematici e in generale delle materie scientifiche, facilitando i processi di indagine, pianificazione, registrazione, analisi e interpretazione. Altri autori hanno rilevato migliori risultati anche nell'apprendimento di concetti di fisica (Badeleh, 2021; Guastella & D'Amico, 2020), geometria e abilità spaziali (Brender *et al.*, 2021; Misirli, Komis, & Ravanis, 2019). Ciò si traduce spesso in un atteggiamento positivo verso le discipline STEM e in uno stimolo a perseguire la propria istruzione e carriera in questi campi. Tale impatto si può rintracciare fin dalla scuola d'infanzia, in cui coding e robotica supportano un cambio di prospettiva da spazio egocentrico a spazio euclideo, funzionale alla consapevolezza della propria lateralizzazione e al potenziamento delle funzioni psicomotorie e dei primi concetti matematici (Napoli, 2021).

Correlati ai precedenti sono gli studi sul potenziale della RE nello sviluppo di abilità cognitive e metacognitive legate alla soluzione dei problemi. La Paglia e colleghi (2018), indagando gli effetti di un laboratorio di robotica sulle funzioni cognitive trasversali di alto livello dei bambini, sostengono che sistemi educativi basati sulla robotica favoriscano l'uso di specifiche abilità cognitive e attentive, rafforzando i processi mentali e incidendo sulle funzioni esecutive. La diretta connessione con problemi reali e la possibilità di ipotizzare, anticipare i possibili scenari, testare, valutare e riformulare esercitano infatti un forte stimolo per le abilità di *problem-solving* e di *problem-posing* (Garavaglia *et al.*, 2018). I risultati dello studio di Castledine e Chalmers (2011) indicano che le attività robotiche aiutano gli studenti a riflettere sulle decisioni di problem-solving. Infatti, tramite un'attenta assistenza dell'insegnante, gli studenti riescono a mettere in relazione tali strategie con i contesti del mondo reale e a sperimentare un autentico problem-solving. L'integrazione della RE promuove quindi abilità cognitive di ordine superiore, come: la memoria di lavoro visuo-spaziale



(Caci, D'Amico, & Chiazzese, 2013), l'astrazione, il ragionamento logico, il processo decisionale, il pensiero sequenziale, il mantenimento e l'aggiornamento delle informazioni in memoria e la risoluzione dei problemi (Di Lieto *et al.*, 2019).

Inoltre, il pensiero logico è spesso correlato a quello creativo. Komis, Romero e Misirli (2017) distinguono, infatti, le attività di RE improntate su una risoluzione rigorosa e procedurale da quelle più interdisciplinari orientate ad un approccio collaborativo e creativo che richiedono strategie di problem-solving co-creativo (Romero & Dupont, 2016). Alcuni autori hanno quindi rilevato un'influenza delle attività di RE sulla creatività degli studenti (Eteokleous, Nisiforou, & Christodoulou, 2020; Badeleh, 2021).

Ulteriori riflessioni si incentrano sull'incidenza della RE sull'ambiente di apprendimento. La RE può infatti contribuire significativamente a creare un ambiente di apprendimento stimolante sia per gli studenti che per gli insegnanti (Guastella & D'Amico, 2020). Nell'ambito del progetto nazionale "PROMISE" (Progetto Robotica Musei Imprese Scuole), Guastella e D'Amico (2020) riportano una forte partecipazione del gruppo classe al percorso laboratoriale con un evidente stimolo delle capacità relazionali e collaborative. Altro valore aggiunto di questi ambienti è il feedback derivante dall'interazione robot-ambiente con cui gli studenti si devono confrontare, per riprogettare e riflettere su quanto fatto (La Paglia *et al.*, 2018; Gratani *et al.*, 2021). La natura delle attività di RE consente infatti agli studenti di ricevere un feedback immediato sul loro lavoro (Daniela & Strods, 2019) poiché l'*embodiement*<sup>40</sup> e la presenza fisica dei robot rendono i risultati della programmazione immediatamente accessibili, favorendo una valutazione formativa dei progressi dell'apprendimento (Gyebi, Hanheide, & Cielniak, 2017). Durante l'osservazione del robot, si verifica un'attivazione del sistema motorio che rende i processi mentali *embodied*, ossia fondati su un codice corporeo; in tal modo, nel passaggio tra percezione e azione, si sviluppa una didattica enattiva<sup>41</sup> (Rossi, 2011) e una concezione enattiva

<sup>40</sup> L'*embodiement* fa riferimento all'*Embodied Cognitive Science* (ECS), un paradigma scientifico e culturale frutto di contributi euristici interdisciplinari che, secondo una visione multiprospettica, rappresenta ormai un solido costruito scientifico. L'ECS si fonda su due elementi peculiari del processo di rappresentazione: percezione ed azione (Gomez Paloma, 2013). Il cervello non si limita ad usare la conoscenza per produrre dei comandi, ma è parte di un sistema più ampio che coinvolge criticamente anche la percezione e l'azione. La teoria, quindi, rifiuta o riformula la visione computazionale dei processi mentali, sottolineando l'importanza del corpo fisico nelle abilità cognitive. Il corpo o le sue interazioni con l'ambiente costituiscono o contribuiscono alla cognizione, che diviene dunque *embodied*, 'incarnata'.

<sup>41</sup> Connesso al precedente è il concetto di *enactivism*. Varela, Thompson e Rosch (1991, p. 9) propongono il termine *enactive* per sottolineare che «la cognizione non è la

della conoscenza, particolarmente preziosa per i soggetti con difficoltà nell'interpretazione dei tradizionali codici linguistici e matematici (Giannandrea & D'Angelo, 2018). Gli strumenti e le metodologie di RE, essendo basati su un approccio costruttivista ed *embodied*, supportano inoltre un ciclo di apprendimento esperienziale, ben sintetizzato nei quattro step del modello di Kolb (1984): esperienza concreta, osservazione riflessiva, concettualizzazione astratta e sperimentazione attiva.

Come già emerso, un ambiente stimolante fondato su un approccio attivo e cooperativo sollecita particolarmente la abilità socio-relazionali e collaborative e le componenti emotive-motivazionali (Screpanti *et al.*, 2021; Lee, Sullivan & Bers, 2013).

Le abilità sopra citate acquisiscono ancor più valore nell'ottica di un'educazione inclusiva. Un altro ampio filone di ricerca è infatti dedicato ai vantaggi inclusivi della RE. La RE risulta funzionale alla progettazione universale per l'apprendimento e quindi a supportare diversi stili di apprendimento (Khanlari, 2019). L'impiego di robot può consentire la strutturazione di attività ludiche accessibili a tutti, mirate all'apprendimento e allo sviluppo cognitivo, affettivo e sociale, anche degli alunni con differenti tipologie di disabilità (Traverso & Pennazio, 2013). Secondo Di Lieto e colleghi (2019), la RE ha il potenziale per migliorare le funzioni esecutive dei bambini con disturbi congeniti o specifici, in quanto i robot consentono di facilitare l'azione, la rappresentazione e il pensiero. Similmente, Bargagna e colleghi (2019) rilevano che la RE, grazie alla sua adattabilità, può coadiuvare lo sviluppo delle funzioni esecutive e l'inclusione di alunni con sindrome di Down, promuovendo interesse, attenzione ed interazione con adulti e coetanei. Ancora, Lins e colleghi (2018) si interessano all'utilizzo della RE per il trattamento riabilitativo dei bambini con paralisi cerebrale con l'obiettivo di stimolare la coordinazione motoria, la cognizione, la memoria e il livello di attenzione. Anche in questo caso, il robot è risultato uno strumento compensativo efficace e molto promettente. La RE può inoltre facilitare la partecipazione di studenti con difficoltà linguistiche o con disturbi specifici di apprendimento. A tal proposito, Grimaldi e colleghi (2012) presentano un prototipo di robot pensato per potenziare le abilità visuo-spaziali di alunni della scuola primaria e secondaria, con o senza problematiche specifiche. Gli autori considerano la RE uno strumento che

rappresentazione di un mondo predeterminato da parte di una mente predeterminata, ma piuttosto è la realizzazione di un mondo e di una mente sulla base di una storia della varietà di azioni che un essere compie nel mondo». La cognizione diviene dunque azione incarnata (*embodied action*) poiché emerge dalle dinamiche senso-motorie ricorrenti fra l'agente incarnato (*embodied*) e l'ambiente naturale in cui è inserito (*embedded*), le quali permettono all'azione di essere guidata percettivamente.

opera sia sul versante del potenziamento delle abilità sia sul versante emotivo-relazionale. La finalità è dunque il recupero dei ragazzi con difficoltà attraverso il rafforzamento della prospettiva metacognitiva (consapevolezza e auto riflessività sul processo di apprendimento) e l'integrazione in un contesto di apprendimento cooperativo. Particolarmente rilevante, specialmente per i soggetti con disturbi nel comportamento, è infine la regolazione “a basso impatto” offerta dai robot. Questi ultimi forniscono un feedback intrinseco (Laurillard, 2012) svincolato dall'interferenza di un adulto e quindi in grado di alleviare la frustrazione e promuovere motivazione e tolleranza dell'errore (Giannandrea & D'Angelo, 2018). In sintesi, grazie alla valenza ludica, al feedback intrinseco e alle strategie multisensoriali, multidimensionali e multilivello, la RE si pone come facilitatore per: abilità sociali, emotive e capacità imitative (trasferimento); abilità cognitive, visuo-percettive, motorie; “accettabilità sociale”; attenzione e motivazione; approccio al compito meno stressante in un clima collaborativo; esperienza di autoefficacia e di autocontrollo (Pennazio & Fedeli, 2019; Giannandrea & D'Angelo, 2018; Del Bianco, 2018).

Infine, Daniela e Lytras (2019) adottano un approccio ampio all'educazione inclusiva, comprendente quattro dimensioni: bisogni speciali; status socioeconomico; diversità culturale; parità di genere. Tali dimensioni sono fortemente intrecciate e possono quindi sovrapporsi. In questa accezione più ampia, la RE può divenire strumento per la costruzione della conoscenza, strumento di assistenza per gli studenti con problemi specifici o strumento per cambiare l'atteggiamento degli studenti verso l'apprendimento, permettendo a tutti di essere accettati e coinvolti. Secondo le autrici, le attività di ER vanno dunque analizzate rispetto a tre parametri fondamentali per un apprendimento inclusivo: la conoscenza, gli atteggiamenti e il benessere (Fig. 5).

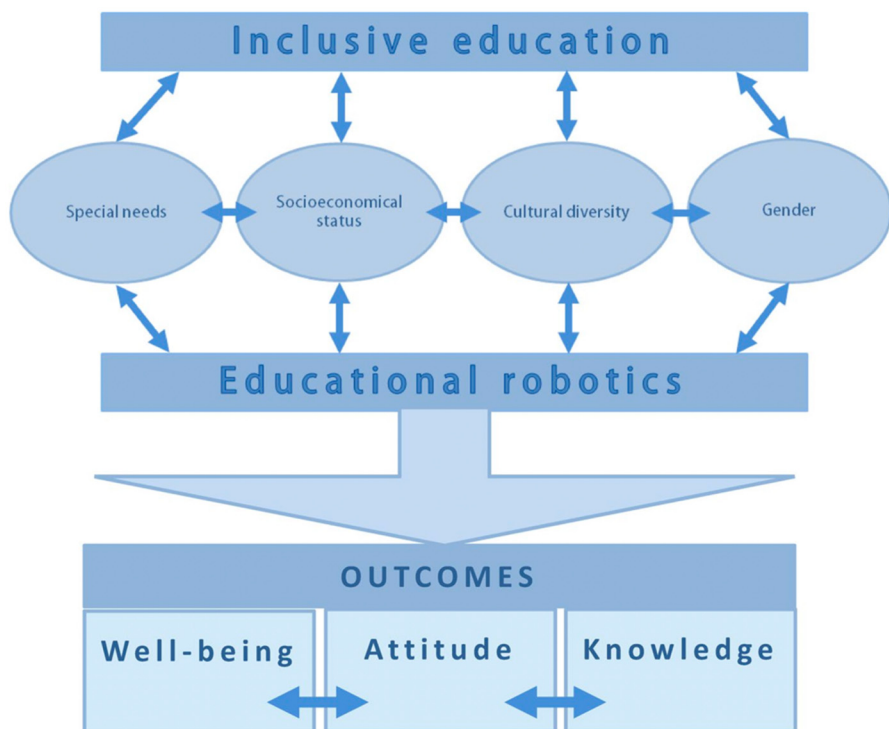


Fig. 5 – Modello concettuale dei risultati dell'uso della RE.  
 Fonte: Daniela e Lytras, 2019, p. 222.

Tra le dimensioni citate, molto discussa è la relazione tra RE e divario di genere. Bagattini, Miorri e Operto (2021, p. 252) avanzano la metafora del «soffitto di vetro» per alludere alle «barriere invisibili e trasparenti che impediscono alle ragazze di intraprendere corsi e carriere nei settori tecnici e scientifici». I vari pregiudizi, ormai ampiamente radicati, sulle professioni femminili fanno sì che le donne siano solitamente sottorappresentate nel campo della RE, dei makerspace, del coding e, in generale, nei settori scientifici (Schön *et al.*, 2020). Stando ad una recente indagine dell'UNESCO (Schneegans, Lewis, & Straza, 2021, p. 23), le donne rappresentano un ricercatore su tre (33%) nel 2018. Inoltre, esse costituiscono solo un quarto (28%) dei laureati in ingegneria, il 40% di quelli in informatica e solo il 22% dei professionisti nel campo dell'intelligenza artificiale. Le donne rappresentano quindi una minoranza nei settori dell'industria 4.0 che, pur risultando capofila della quarta rivoluzione industriale, registrano una carenza di personale adeguatamente qualificato.

Appare allora doveroso domandarsi da dove derivino queste «barriere invisibili» che condizionano le scelte formative e professionali del genere femminile. Il divario tra maschi e femmine rispetto al coinvolgimento nelle materie STEM inizierebbe a manifestarsi già nel passaggio tra scuola primaria e secondaria (Banzato & Tosato, 2017). Secondo Sullivan e Bers (2016) è fondamentale introdurre i bambini a tecnologie innovative come la robotica fin dalla prima infanzia, per prevenire opinioni di genere su questi strumenti. Dallo studio condotto, infatti, gli autori rilevano che già a 4-7 anni i bambini iniziano a decidere «quali attività e materiali di tecnologia e ingegneria sono più adatti ai ragazzi o alle ragazze» (Sullivan & Bers, 2016, p. 162). Gli insegnanti stessi, inoltre, hanno la tendenza a considerare i ragazzi maggiormente interessati e portati per la tecnologia (Legewie & DiPrete, 2014). Per tali ragioni, negli ultimi anni sono sorti numerosi progetti, iniziative e associazioni dedicati alla promozione delle materie STEM tra le ragazze, come i progetti europei *Girls in STEM*<sup>42</sup> e *Roberta*, *Girls discover robots*<sup>43</sup> o l'organizzazione internazionale *Girls who Code*<sup>44</sup>.

Considerate le vaste implicazioni positive delle attività di RE, gli studiosi insistono sull'importanza di inserire tali attività nel curriculum scolastico e, ancor meglio, in una progettazione longitudinale. «L'introduzione della robotica nell'istruzione è emersa negli ultimi anni come una sfida per i sistemi educativi» (Alimisis *et al.*, 2019, p. 94). La mera introduzione dei robot in classe non è sufficiente a garantire benefici per l'apprendimento; il curriculum e l'allineamento con le teorie dell'apprendimento risultano infatti cruciali nel determinare risultati di apprendimento (Alimisis & Moro, 2016).

Gyebi, Hanheide e Cielniak (2017) presentano uno studio in cui la programmazione dei robot viene inserita nel programma scolastico formale di un paese in via di sviluppo per testare la sua efficacia e il suo impatto. I risultati mostrano alcuni benefici ottenuti da tali attività e indicano che la RE è uno strumento promettente nello sviluppo di curricula di studio coinvolgenti. Secondo Scaradozzi e colleghi (2019) i curricula delle scuole primarie risultano prevalentemente orientati alle scienze e alla matematica, dedicando poco spazio ad informatica, problem-solving, tecnologia e robotica. La RE dovrebbe essere dunque inclusa nell'offerta didattica curricolare fin dall'inizio dell'anno come disciplina a sé stante o come attività regolare all'interno di una disciplina più ampia e, in quanto tale, godere di un proprio orario e di una propria valutazione (Scaradozzi, Screpanti, & Cesaretti, 2019). Introdurre la robotica come disciplina

<sup>42</sup> <https://girlsinstem.eu/>.

<sup>43</sup> <https://www.roberta-home.de/en>.

<sup>44</sup> <https://girlswhocode.com/>.

curricolare consentirebbe di avviare gli studenti alle basi della tecnologia e di supportarli nel mettere in sinergia le conoscenze acquisite in diverse materie, oltre a sviluppare competenze trasversali come il pensiero razionale, la creatività e l'innovatività. Lo studio di Xenos e colleghi (2017, p. 222) pone in luce una serie di ragioni per cui risulta vantaggioso integrare la RE nel curriculum scolastico:

- coinvolgere tutti gli studenti nella programmazione, soprattutto quando questa viene concepita come un'operazione noiosa o troppo complessa;
- presentare opportunità di carriera nel campo dell'informatica e della tecnologia;
- demistificare domini che per *default* sono considerati difficili (robotica, matematica);
- aiutare gli studenti a capire il funzionamento di oggetti e processi di vita quotidiana;
- aiutare gli studenti a sviluppare capacità di problem-solving.

Attività ben progettate possono quindi risultare produttive non solo per un dominio specifico, ma per molti aspetti del processo di apprendimento (Xenos *et al.*, 2017).

Tuttavia, la maggior parte dell'attività di RE effettuate in ambito scolastico e oggetto di studio sono ancora inserite nella programmazione come attività ricreative ed extracurricolari. Questo può generare un *digital divide* tra gli studenti che hanno l'opportunità di partecipare e quelli che non la hanno (Daniela & Strods, 2019). Tra i vari ostacoli all'integrazione e le questioni aperte, Alimisis e Moro (2016) e Alimisis e colleghi (2019) riportano:

- la carenza di flessibilità, apertura alla novità e creatività dei sistemi scolastici;
- la carenza di attività di RE volte a supportare le abilità del XXI secolo a favore di esperienze rigorose ed eccessivamente guidate;
- la carenza di valutazioni sistematiche sull'efficacia educativa della robotica e di disegni sperimentali affidabili su come impiegarla a scuola;
- l'errata convinzione che la robotica sia una scienza "dura" e adatta solo a studenti dotati o orientati alla scienza e alla tecnologia;
- le opinioni basate sul genere;
- la mancanza di attrezzature robotiche e le risorse limitate delle scuole;
- il costo elevato dei kit di robotica commerciali.

A fronte dei notevoli benefici della RE e dell'aumento di robot e piattaforme a scopo educativo, il progresso nel campo dell'educazione robotica è, secondo gli autori, piuttosto lento. Le tecnologie robotiche vengono infatti spesso introdotte nell'educazione attraverso metodologie che

rafforzano i vecchi metodi di insegnamento (Alimisis, 2013) e che risultano quindi inefficaci per l'attuale società e mercato del lavoro. Non esiste un solo modo per approcciare la RE in modo scalare; sono necessarie diverse strategie in base all'età, all'esperienza degli insegnanti e agli aspetti socioeconomici (Cuartielles *et al.*, 2020).

Screpanti, Miotti e Monteriù (2021) evidenziano la mancanza di linee guida su come integrare la robotica nell'educazione e la difficoltà nel valutare le complesse competenze stimulate da queste nuove pratiche. L'incertezza legata ai metodi di implementazione e valutazione rappresenta un ostacolo per gli insegnanti nello sfruttare ed esplorare a pieno i possibili benefici della tecnologia.

Una filosofia educativa, un ambiente di apprendimento e una metodologia di insegnamento appropriati risultano dunque essenziali per incorporare con successo la RE nelle scuole (Alimisis, 2009).

## 2.6 La fabbricazione digitale

Accanto alla RE, uno spazio prioritario nell'ambito della *Maker Education* è riservato alla *digital fabrication*, o fabbricazione digitale. Storicamente, la fabbricazione risale a mestieri innatamente “umani” e artigianali come la lavorazione del legno e il cucito (Martin, 2015), ma la diffusione di strumenti di fabbricazione digitale come stampanti 3D, taglierine laser e microcontrollori Arduino segna una rivoluzione nell'atto del making e della produzione per il XXI secolo (Hansen, McBeath, & Harlow, 2019). Citando Bull e Garofalo (2009, p. 10): «la transizione da atomi (media analogici) ai bit (media digitali) è la prima metà di una rivoluzione digitale. La seconda metà coinvolge il viaggio di ritorno dai bit agli atomi per permettere la creazione di materiali tangibili basati su progetti digitali».

La fabbricazione digitale indica il processo di produzione digitale di artefatti fisici e tridimensionali a partire da modelli digitali (Bull, Gerald, & Gibson, 2009). Tale processo, figlio di quella che in ambito industriale è conosciuta come “prototipazione rapida”, investe in un primo momento i processi produttivi del settore manifatturiero per poi estendersi notevolmente anche a settori non professionali, grazie alla spinta del movimento Maker. Negli ultimi anni, infatti, numerosi fattori hanno contribuito a una “democratizzazione del manufacturing” (Mota, 2011; Bosco, Santiveri & Tesconi, 2019) e al fenomeno della *personal fabrication*. Tra questi si evidenziano: la diffusione dei FabLab, il costo più economico degli strumenti di prototipazione, l'impiego di software di semplice utilizzo per la

progettazione e la modellazione e la nascita di comunità fisiche e virtuali per la condivisione di esperienze e modelli digitali. I FabLab sono spesso associati alla cultura *open source* e all'opportunità di innovazione e crescita tecnologica emergente dal basso. Oltre ai luoghi fisici, esistono inoltre siti in cui gli utenti possono accedere ad un *repository* di modelli 3D free messi a disposizione da altri utenti per produrre in proprio degli artefatti.

La fabbricazione digitale prevede l'utilizzo di vari strumenti a seconda della tecnica utilizzata. Nello specifico, si distinguono due principali tipologie di tecniche:

1. additive (o *additive manufacturing*) in cui l'artefatto si genera dall'"aggiunta" o sovrapposizione di sottilissimi strati di materiale (*layers*) (ad esempio stampa 3D e penne 3D);
2. sottrattive (o *subtractive manufacturing*) in cui l'artefatto si genera dalla "sottrazione" del materiale in eccesso da un solido di partenza (ad esempio taglio laser e fresatura).

Parlando di prototipazione rapida in senso proprio si fa però riferimento principalmente a tecniche additive. Nell'ultimo decennio, l'attenzione dei media nei confronti di questa tecnica di fabbricazione è aumentata vertiginosamente, rendendola nota al di fuori della nicchia di professionisti del design e dell'ingegneria.

La stampa 3D affonda le sue radici nel settore industriale con l'intento di sviluppare una prototipazione rapida di oggetti attraverso tecniche e materiali via via più sofisticati e prestanti. La stampante 3D è di per sé un prodotto di ricerca e la sua stessa storia consente di comprendere facilmente quanto essa sia soggetta a una continua evoluzione e aperta a innumerevoli scenari di sviluppo (Guasti, 2017). Attualmente, esistono vari modelli di stampanti 3D che si distinguono in termini di estetica e performance. Tuttavia, le componenti fondamentali che li accomunano sono:

- struttura: le stampanti possono essere fatte di metallo, legno o plastica e possono essere completamente chiuse o aperte ai lati;
- letto di stampa o piattaforma di costruzione: è la piattaforma piatta su cui viene costruito l'oggetto stampato;
- testina di stampa: è il meccanismo che controlla la fuoriuscita del filamento. Nella maggior parte delle stampanti di piccole dimensioni, la testina si muove avanti e indietro e da un lato all'altro in una griglia X, Y. Il letto di stampa si muove verso il basso e l'alto nella direzione Z;
- estrusore: è la componente che conduce il filamento verso l'estremità calda, operando come il grilletto di una pistola per colla a caldo;
- ugello di stampa: è la componente più calda della stampante, dove il filamento viene fuso e depositato sul letto di stampa o sulla superficie dell'oggetto in costruzione.



I due tipi di filamenti di plastica principalmente usati per le stampanti 3D a basso costo sono ABS (materiale che compone i mattoncini LEGO) e PLA (composto da amido di mais e zucchero quindi potenzialmente biodegradabile, anche se richiede un processo di compostaggio). L'ABS è generalmente più robusto ma più costoso del PLA e fonde a una temperatura più elevata. Alcune stampanti possono passare da un tipo di filamento all'altro.

### 2.6.1 La fabbricazione digitale a scuola

La fabbricazione digitale, richiamando i concetti della *Maker culture* e del *learning by making*, si inserisce nel processo di innovazione che interessa oggi l'educazione. L'avvento dei sistemi di fabbricazione personale consente alle scuole di iniziare a esplorare le implicazioni educative apportate dalla rivoluzione della fabbricazione digitale (Bull & Garofalo, 2009). Contrariamente a quanto si può pensare, la fabbricazione digitale non si lega solo ad attività di arte, *craft* o design, ma si presta bene anche a proposte curriculari di respiro multidisciplinare che coinvolgono le discipline STEM (Leinonen *et al.*, 2020).

Paulo Blikstein (2013), uno dei maggiori sostenitori dell'introduzione della fabbricazione digitale nel curriculum di base nelle scuole, avanza l'analogia tra la fabbricazione digitale e il linguaggio LOGO. Infatti, come il LOGO ha reso la programmazione, la geometria e la matematica complessa maggiormente comprensibili e alla portata degli studenti, la fabbricazione digitale può fare lo stesso per il design e l'ingegneria, ormai inclusi nella gamma di conoscenze disciplinari da apprendere a scuola. Nel 2008, egli avvia il progetto "*FabLab@School*"<sup>45</sup> per supportare scuole in tutto il mondo nella creazione di laboratori di fabbricazione digitale. Il progetto nasce da una rilevata carenza di spazi inclusivi dedicati all'ingegneria e all'invenzione in grado di veicolare esperienze di connessione significativa tra vita scolastica e contesti informali degli alunni. Blikstein inizia dunque a progettare nelle scuole spazi invitanti e *gender-neutral* che egli concepisce

<sup>45</sup> Il progetto *FabLab@School* è stato implementato in 28 scuole in sette paesi e comprende principi di progettazione dello spazio, kit di strumenti, sviluppo professionale e curricula. Esso fa parte di un programma di ricerca più ampio, il *Transformative Learning Technologies Lab* (TLTL), un gruppo multidisciplinare che progetta e ricerca nuove tecnologie per l'educazione, esplorando le possibili innovazioni derivanti dall'intersezione tra tecnologia ed educazione, come la modellazione bifocale, le piattaforme di sviluppo DIY, la fabbricazione digitale e la prototipazione rapida.

come luoghi “dirompenti” dove gli studenti possono fare, costruire e condividere in sicurezza le loro creazioni.

Dall’esperienza sul campo, Blikstein (2013, p. 219) trae cinque importanti principi per la progettazione di ambienti di apprendimento che incorporano la fabbricazione digitale:

1. prediligere sfide e compiti complessi piuttosto che semplici e veloci progetti dimostrativi che riscuotono un elevato livello di gradimento ed ammirazione esterna a fronte di un impegno minimo degli studenti;
2. promuovere dei cicli multipli di progettazione e tener conto del «coinvolgimento viscerale» e dei livelli di frustrazione ed eccitazione che gli studenti normalmente non esperiscono nella loro tradizionale esperienza scolastica;
3. riconfigurare i confini artificiali tra le discipline per apprezzare la ricchezza derivante da «potenti progetti interdisciplinari»;
4. promuovere un apprendimento contestualizzato delle STEM. Gli studenti possono incontrare diversi concetti legati all’ingegneria e alla scienza in modo altamente significativo, coinvolgente e contestualizzato. Concetti astratti come l’attrito e la quantità di moto diventano infatti significativi e concreti quando sono necessari per portare a termine una sfida.
5. «intellettualizzare» e rivalutare le pratiche familiari (Blikstein, 2008). Gli studenti giungono al laboratorio con le loro pratiche familiari di artigianato, costruzione o falegnameria e tali pratiche vanno potenziate mediante strumenti socialmente apprezzati e un ambiente che valorizzi molteplici modi di lavorare.

Ancora, Katterfeldt, Dittert e Schelhowe (2015) riportano alcuni esiti del progetto tedesco “*TechKreativ*”, incentrato sulla progettazione e la valutazione di ambienti di apprendimento costruzionista per la fabbricazione digitale. Nel corso degli oltre dieci anni di ricerca, gli autori identificano tre idee chiave per facilitare la cosiddetta *Bildung*, ovvero un apprendimento profondo e sostenibile sulla tecnologia digitale:

1. *Be-Greifbarkeit*: modelli astratti diventano “afferrabili”. Il termine deriva dal verbo tedesco ‘*begreifen*’ che rimanda all’inglese ‘*to grasp*’ ed assume un doppio significato: da un lato rimanda all’afferrare, al toccare e sentire qualcosa apticamente, con le mani o con tutto il corpo; dall’altro esso sta per capire o dare un senso a qualcosa con la mente. Nella sua duplice accezione, il termine si riferisce quindi al capire afferrando e all’afferrare per capire, sottolineando la connessione tra corpo e mente o agire e pensare. Tuttavia, il *be-greifbarkeit* non si raggiunge solo disponendo di una tecnologia tangibile o di un oggetto con cui pensare. Esso implica un accurato design dell’ambiente e del materiale di apprendimento che renda i modelli algoritmici interni dell’allievo

“afferrabili” e che consenta esplorazioni iterative dei concetti. Il processo iterativo di costruzione di un artefatto permette infatti una «danza» tra immersione e distanziamento (Ackermann, 1996, p. 28), fondamentale per un apprendimento profondo.

2. *Imagineering*: approcci creativi alla tecnologia. La seconda idea pone al centro il processo riflessivo legato alla progettazione dell’artefatto e l’immaginazione dello studente (Folkmann, 2013). Quest’ultima è associata alla creatività e all’inventiva, ma anche alle idee immaginarie, riferite al proprio vissuto e personalmente significative che non sono ancora state esternate e materializzate. Il termine rimanda quindi al lato creativo, personale e significativo dell’attività di costruzione, ma anche alla fase concreta di implementazione fisica delle idee dell’alunno. In connessione con il dualismo tra corpo e mente del *be-greifbarkeit*, l’*imagineering* esalta quindi il processo reciproco tra il richiamo di idee significative e la loro implementazione attraverso la tecnologia.
3. *Self-efficacy* e la relazione con la tecnologia. Rafforzare l’autoefficacia è la terza idea centrale per il *Bildung*. L’esperienza di autoefficacia incide positivamente sulla motivazione e la performance e quindi sullo sviluppo personale degli studenti (Bandura, 1997). L’individuo sviluppa la sua personalità in base al suo potere e alla sua azione trasformativa sull’ambiente, cioè sugli oggetti e i processi circostanti. L’autoefficacia si lega quindi al concetto di *empowerment*, permettendo al soggetto di guadagnare fiducia non solo per vivere nel mondo digitalizzato, ma anche per contribuire attivamente ad esso.

Le ragioni della crescente notorietà della fabbricazione digitale in ambito scolastico sono certamente molteplici, ma in primo luogo va considerato l’enorme progresso tecnico di una particolare tecnica additiva, la stampa 3D. Negli ultimi anni sono apparse sul mercato internazionale e italiano stampanti 3D appositamente pensate per essere usate a scuola in maniera più accessibile e sicura da alunni e docenti. Nella scelta della tipologia della stampante è fondamentale considerare lo scopo finale della stampa. In ambito educativo, risultano prevalentemente diffuse le stampanti FDM<sup>46</sup>. Queste ultime, infatti, grazie a un doppio estrusore, favoriscono una maggiore libertà di progettazione e si prestano per la produzione di oggetti che non necessitano di un’eccessiva risoluzione, come giochi, dadi, ingranaggi, scatole, e così via. Le stampanti FDM sono inoltre consigliate

<sup>46</sup> La *Fused Deposition Modeling* (FDM), ovvero la modellazione a deposizione fusa, viene brevettata nel 1988 da Scott Crump, fondatore della “*Stratasys*”, assieme alla moglie Lisa. Tale tecnica si basa sulla fusione e distribuzione di filamenti plastici in strati sovrapposti su una superficie piatta per generare l’oggetto dal basso verso l’altro. La FDM è oggi alla base del funzionamento di numerose stampanti 3D.

per introdurre i concetti di base della progettazione tridimensionale (Di Tore, De Simone, & Todino, 2021). La rivoluzione apportata dalla stampa 3D è indubbiamente legata anche all'impiego di un software 3D. Quest'ultimo, infatti, ha sostituito il lento e dispendioso processo di creazione dei modelli 3D a partire da disegni bidimensionali con il *Computer-Aided Design* (CAD), una “progettazione assistita dall'elaboratore”. Il software CAD consente di creare modelli tridimensionali tramite un reticolo di figure geometriche, tradotti poi in formato .STL leggibile dalle stampanti 3D. Il modello viene infine suddiviso in strati virtuali dal software della stampante tramite un processo di *slicing* funzionale alla stampa. I software CAD sono oggi molto accessibili in termini di costi e semplicità di utilizzo.

La scelta del programma CAD è rilevante poiché esistono molte tipologie di software, da quelli industriali a pagamento a quelli progettati per hobbisti fino a quelli disponibili gratuitamente e accessibili anche a novizi e bambini. Attualmente, uno dei software per la modellazione 3D più popolare tra quelli in uso nelle scuole è *TinkerCAD*<sup>47</sup>. Si tratta di una web app gratuita di proprietà di *Autodesk* nata nel 2011 con l'intento di rendere la progettazione 3D accessibile a chiunque e consentire la pubblicazione dei propri lavori con una licenza *Creative Commons* (CC). Il software offre anche altre funzionalità come la simulazione di circuiti elettronici, la composizione di forme e progetti 3D attraverso blocchi di coding e la possibilità di visionare i modelli 3D in realtà aumentata. È stato progettato appositamente per l'ambito didattico e può essere quindi introdotto fin dalla scuola primaria, grazie all'interfaccia molto intuitiva. Si può accedere da qualunque dispositivo che disponga di una connessione internet effettuando una semplice registrazione. In ambito didattico risulta molto funzionale la possibilità di registrarsi come docenti; ciò consente infatti di creare delle classi/lezioni virtuali, contraddistinte da un codice identificativo, dove inserire i nominativi dei propri alunni e assegnare ad ognuno un *nickname*. Gli studenti possono così accedere alla classe effettuando l'accesso con il proprio account o digitando direttamente il codice della classe e il *nickname* assegnato. L'insegnante può inoltre aggiungere alle classi uno o più co-insegnanti, abilitando anch'essi a visionare e modificare i progetti degli studenti e a monitorare la loro attività. L'amministrazione degli studenti resta tuttavia riservata all'insegnante proprietario della classe. *TinkerCAD* permette di generare forme personalizzate basandosi sul metodo della geometria solida costruttiva, divenendo un ottimo mezzo per attività laboratoriali sulla geometria. Particolarmente prezioso è il suo utilizzo in combinazione con *Google Classroom* per inviare agli studenti attività da

<sup>47</sup> <https://www.tinkercad.com/>.

svolgere e ricevere i progetti completati in *TinkerCAD*. Oltre alla galleria di progetti della community, i docenti possono accedere a numerosi piani lezione suddivisi per ambito tematico e disciplina. I modelli prodotti possono essere infine esportati direttamente nei formati di stampa 3D .STL o .OBJ o adattati ai mondi di *Minecraft Education* e al formato LEGO.

Si segnalano inoltre i seguenti software, particolarmente diffusi in ambito scolastico: *SugarCAD*<sup>48</sup>, *SketchUp*<sup>49</sup>, *LeoCAD*<sup>50</sup>, *3D Slash*<sup>51</sup>.

## 2.6.2 Potenzialità e sfide

Con l'ascesa del movimento Maker, la maggiore accessibilità delle nuove tecnologie per la fabbricazione digitale ha favorito la loro "entrata" nelle scuole e nelle attività di tempo libero.

Neil Gershenfeld (2005) mette in evidenza un concetto centrale nella fabbricazione digitale: l'*empowerment*. Gli artefatti auto-progettati, oltre all'apprendimento di nuove conoscenze e abilità, possono favorire indipendenza, immaginazione e libertà intellettuale, elementi chiave per l'aumento dell'*empowerment* degli alunni (Leinonen *et al.*, 2020). Rilevante è anche la possibilità di assegnare un nome o un significato personale all'oggetto e di impattare su un contesto di vita reale attraverso un'esperienza *embodied* vissuta in prima persona. La fabbricazione digitale si fonda infatti su processi di *design thinking* e produzione di artefatti personali (Gershenfeld, 2005) che promuovono la curiosità e la motivazione degli alunni (Lipson & Kurman, 2013).

Tra i primi risultati del progetto "*FabLab@School*", Blikstein (2013) riporta la valorizzazione del lavoro manuale che gli studenti erano soliti fare al di fuori della scuola e delle occupazioni dei loro genitori. Le pratiche di costruzione familiari sono state infatti potenziate con strumenti computazionali, che hanno generato progetti reali più raffinati e sofisticati e quindi *empowerment* e maggiore autostima. L'autoefficacia è un risultato di apprendimento spesso riportato nei contesti di fabbricazione digitale, poiché gli alunni si percepiscono come produttori e si pongono in una nuova relazione con il mondo e la tecnologia. Ulteriori vantaggi evidenziati sono poi l'accelerazione dei processi di ideazione e invenzione e la possibilità di sperimentare nuovi modi di lavorare e di collaborare in squadra. I laboratori hanno fornito uno "spazio sicuro" per progetti a lungo termine in cui affrontare

<sup>48</sup> <https://3d.indire.it/index.php?act=SugarCAD>.

<sup>49</sup> <https://www.sketchup.com/it>.

<sup>50</sup> <https://www.leocad.org/>.

<sup>51</sup> <https://www.3dslash.net/index.php>.

l'intensa esperienza del fallimento. Secondo l'autore, infatti, un vero progetto di ingegneria non si adatta al formato unico di 50 minuti, ma richiede tempi distesi per effettuare diversi cicli di progettazione e riprogettazione.

Le attività di fabbricazione digitale valorizzano dunque l'autorialità dell'alunno nel processo di apprendimento partendo dai suoi interessi e dalle sue indagini e promuovendo una competenza digitale basata su produzione e creatività piuttosto che sul mero consumo di informazioni (Blikstein, 2013; Hsu, Baldwin, & Ching, 2017; Pepler, Halverson, & Kafai, 2016; Bosco, Santiveri, & Tesconi, 2019).

In particolare, la stampa 3D, oltre a registrare un incremento della domanda nel mercato e nell'industria, si è recentemente affacciata al mondo dell'istruzione suscitando curiosità ed interesse. Gli studiosi hanno infatti iniziato ad interrogarsi su potenzialità e limiti di questo strumento innovativo (si vedano ad esempio Hansen, McBeath, & Harlow, 2019; Leinonen *et al.*, 2020; Saettone, Bogliolo, & Micheli, 2020). In primo luogo, la letteratura evidenzia il forte stimolo alla creatività e all'alfabetizzazione tecnologica degli studenti (Trust & Maloy, 2017), così come all'apprendimento delle materie STEAM, favorito dalle attività di prototipazione fisica (Berry *et al.*, 2010; Horowitz & Schultz, 2014). Preziose ricadute si rintracciano anche nell'apprendimento delle materie umanistiche (Maloy *et al.*, 2017), vista la possibilità di realizzare e/o "toccare con mano" artefatti legati alla storia e all'arte (Saettone, Bogliolo, & Micheli, 2020).

Oltre a quanto detto, dalle varie ricerche condotte possiamo evidenziare i seguenti vantaggi nell'utilizzo della stampa 3D nel settore dell'istruzione:

- apprendimento autodiretto e conseguente aumento di motivazione e coinvolgimento;
- potenziamento di pensiero progettuale ed analisi critica;
- personalizzazione di prodotti reali;
- fallimento come parte del processo iterativo;
- possibilità di vedere concretizzati idee e interessi;
- preparazione per future carriere o studi legati alle STEAM;
- promozione del problem-solving.

Citando Garzia e Mangione (2017, p. 55), la stampante 3D si configura quindi come «un mediatore tra concettualizzazione teorica, realizzazione pratica e trasferimento e validazione in situazione».

Di contro, si rilevano i seguenti punti di debolezza:

- elevata quantità di tempo di stampa in rapporto alla dimensione degli oggetti;
- necessità di tempi distesi per progettazione, stampa e revisione, in contrasto con la tradizionale organizzazione del tempo scuola;

- scarsa preparazione dei docenti.

Nemorin e Selwyn (2017) considerano l'applicazione della stampa 3D nelle scuole una questione complessa, poiché spesso essa finisce per rinforzare e/o “ringiovanire” pratiche educative tradizionali e “vecchio stile”, piuttosto che promuovere modi di apprendimento innovativi e centrati sull'allievo. Anche Iversen e colleghi (2015) riconoscono le grandi sfide strutturali che la comunità di ricerca deve affrontare per un tale cambiamento, tra cui «la capacità degli insegnanti di sostenere attività e processi così complessi, la necessità di ripensare le tecnologie come materiali flessibili per la progettazione e la pianificazione di sistemi e strumenti per valutare le competenze riflessive e *design-based* che sono relativamente nuove per le scuole» (Iversen *et al.*, 2015, p. 1).

Le tecnologie di modellazione e stampa 3D hanno avuto un impatto ancora limitato all'interno delle istituzioni scolastiche. La diffusione si è registrata prevalentemente all'interno di istituti tecnici, ma per sfruttare a pieno le loro potenzialità formative esse dovrebbero essere introdotte a partire dal primo ciclo d'istruzione, iniziando ad approcciarvi fin dalla scuola dell'infanzia. A tal proposito, si segnala il progetto di ricerca italiano “*Maker@scuola*”<sup>52</sup>, promosso da INDIRE nel 2014 e realizzato in collaborazione con otto scuole dell'infanzia distribuite sul territorio nazionale. Il progetto, nella sua fase preliminare, nasce come una «sorta di scommessa» (Guasti & Rosa, 2017, p. 13) con intenti strategici e innovativi. Le scuole coinvolte hanno integrato le attività di stampa 3D nel loro piano didattico e la sperimentazione è risultata presto fruttuosa grazie ad alcuni requisiti chiave della scuola dell'infanzia, come le aule polifunzionali condivise tra le sezioni, le proposte formative “elastiche” e l'approccio laboratoriale fondato sulla manualità. Nell'anno scolastico 2017/18, il campo di ricerca si è esteso coinvolgendo più di cento istituti, fra scuola dell'infanzia e scuola primaria. Le prime stampanti sono state fornite da INDIRE poiché all'inizio della sperimentazione pochissime scuole di vario ordine e grado disponevano di tale strumentazione.

## 2.7 La realtà virtuale e la realtà aumentata

Negli ultimi anni, la realtà virtuale e la realtà aumentata hanno riscosso una crescente popolarità in svariati settori. Tuttavia, attorno ai due concetti, alle loro funzionalità e ai loro ambiti di applicazione c'è spesso poca chiarezza.

<sup>52</sup> <https://www.indire.it/progetto/maker-a-scuola/>.

L'espressione *Virtual reality* viene coniata nel 1989 dall'informatico statunitense Jaron Lainer che, nel corso di un'intervista, la definì come:

qualcosa che esiste solo come rappresentazione elettronica, che non ha un'altra esistenza concreta. È come se ci fosse anche se non c'è. [...] La Realtà Virtuale non è un computer. Stiamo parlando di una tecnologia che utilizza abiti computerizzati per sintetizzare una realtà condivisa. Ricrea la nostra relazione con il mondo fisico su un nuovo piano, né più, né meno. Non influisce sul mondo soggettivo; non ha niente a che fare direttamente con ciò che è nel vostro cervello. Ha a che fare solo con ciò che i vostri organi di senso percepiscono (Kelly, Heilbrun, & Stacks, 1989, p. 110).

Per Realtà Virtuale (*Virtual Reality*, VR) si intende una realtà interattiva, creata digitalmente attraverso software avanzati, che consente agli utenti di effettuare un'esperienza immersiva e “navigare” in un mondo alternativo. Tramite dispositivi informatici o periferiche come visori (caschi o semplici occhiali), guanti, joystick, tute con sensori e cuffie, gli utenti si isolano dall'ambiente circostante e interagiscono in tempo reale mediante i propri sensi in mondi virtuali tridimensionali e dinamici. L'esperienza è resa ancor più realistica dall'adattabilità delle scenografie virtuali, che seguono i movimenti della testa dell'utente e cambiano la prospettiva di visione in base al suo punto di vista. Vi sono varie tipologie di VR, tra cui la VR non immersiva che consente agli utenti di visualizzare rappresentazioni digitali su uno schermo e di interagire attraverso dispositivi di input per controllare personaggi o attività all'interno dell'esperienza. In questo caso, quindi, si interagisce con l'ambiente virtuale ma non direttamente, mantenendo il controllo sul proprio ambiente fisico. Questa tipologia può risultare utile nel caso non si disponga degli strumenti necessari per la completa immersione.

Soroko e colleghi (2021) presentano una classificazione di tecnologie VR in base al “senso di realtà” dell'utente e agli accessori VR utilizzati (Fig. 6). In base alla prima variabile si distinguono:

- VR a immersione totale: fornisce una simulazione realistica del mondo virtuale con un elevato grado di dettaglio (ad esempio *Virtual Shooter gaming zone*);
- VR con semi-immersione: include gli attributi della VR e del mondo reale, incorporando oggetti di grafica computerizzata nella scena reale (ad esempio un simulatore di volo);
- VR senza immersione: si riferisce a un'esperienza virtuale attraverso un computer in cui l'utente può controllare alcuni personaggi o attività all'interno del software, senza però interagire direttamente con l'ambiente (ad esempio *World of WarCraft*);



- VR con infrastruttura collaborativa: è un mondo virtuale tridimensionale con elementi di un social network (ad esempio la versione VR di *Minecraft*);
- VR con AR: l'utente non è completamente immerso e si differenzia per la sovrapposizione di elementi virtuali e reali (ad esempio *Pokemon Go*).

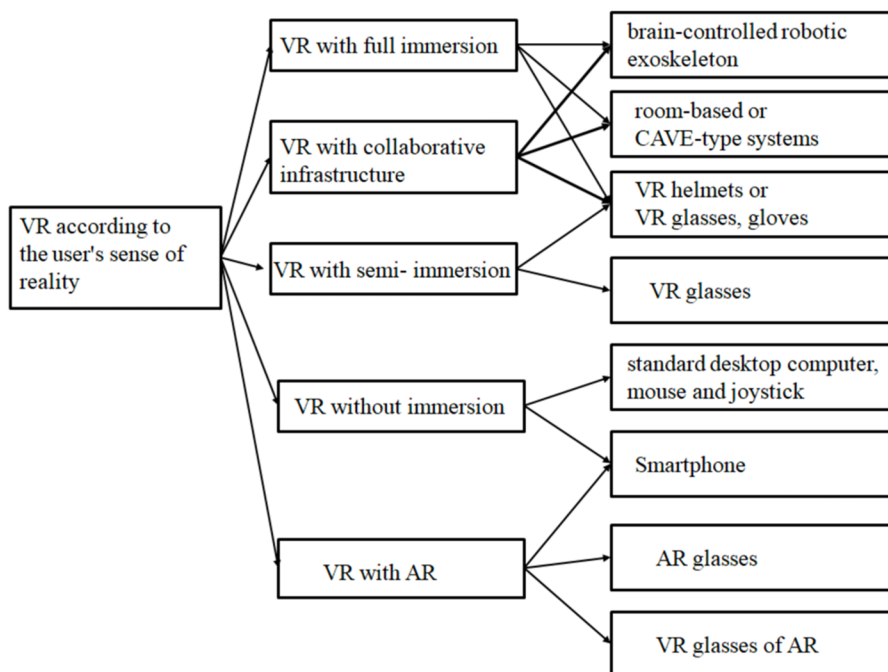


Fig. 6 – Classificazione dei tipi di VR in base al senso di realtà dell'utente e al tipo di accessori VR.

Fonte: Soroko et al., 2021, p. 91.

La Realtà Aumentata (*Augmented Reality*, AR) rappresenta, come si evince dalla locuzione stessa, una versione “aumentata” e arricchita della realtà attraverso la sovrapposizione in tempo reale di elementi digitali di diverso tipo e formato (grafico, testuale, sonoro, ecc.) allo spazio fisico. Si tratta quindi di un’integrazione della realtà circostante volta a migliorare e potenziare l’esperienza e la conoscenza della stessa, senza influire sulle possibilità di interazione dell’utente.

L’espressione viene coniata nel 1992 dal ricercatore americano della *Boeing Company* Thomas Preston Caudell incaricato, assieme al collega David Mizell, di facilitare il compito dei tecnici addetti al cablaggio di impianti elettrici negli aerei. I due ricercatori idearono dei particolari apparecchi indossabili che, tramite occhiali ad alta tecnologia, erano in grado di proiettare le istruzioni di cablaggio su pannelli multiuso e riutilizzabili.

Tra VR e AR troviamo infine ambienti che presentano un mix di reale e virtuale, da cui il nome *mixed reality* (MR). Tali ambienti possono essere maggiormente vicini all’AR, con una prevalenza dell’ambiente reale e la presenza di oggetti digitali che interagiscono con quelli reali, o viceversa, possono mostrare una prevalenza del mondo virtuale con la presenza di alcuni oggetti reali, generando una virtualità aumentata (*Augmented Virtuality*, AV) (Alizadeh, 2019).

Contrariamente a quanto si pensi, l’idea di ampliare il digitale attraverso esperienze immersive e “aumentate” affonda le sue radici ben prima del XXI secolo. Nel 1838, infatti, lo scienziato Charles Wheatstone sviluppa i primi stereoscopi, dispositivi in grado di combinare una coppia di immagini per ottenere un’unica immagine 3D generando un’illusione di profondità. Successivamente, nel racconto *Pygmalion’s Spectacles*, pubblicato nel 1935 dallo scrittore americano di fantascienza Stanley G. Weinbaum, si legge di un protagonista che esplora un mondo immaginario utilizzando un paio di occhiali. Bisognerà però attendere gli anni Cinquanta per vedere i primi prototipi di tecnologia VR e AR in azione. Nel 1957, infatti, il cinematografista Morton Heilig crea “*Sensorama*”, un macchinario in grado di accompagnare la visione di un breve film con vibrazioni del sedile, sensazioni tattili, vento, suoni e odori che consentivano allo spettatore di immedesimarsi nella scena. Il progetto diede quindi vita ad una prima esperienza di coinvolgimento sensoriale in una realtà fittizia, ma si dimostrò fin troppo all’avanguardia per l’epoca. Le più importanti case cinematografiche non videro infatti un ritorno economico idoneo a bilanciare gli eccessivi costi di produzione, ponendo così fine alla sperimentazione.

La svolta verso la *wearable technology* (‘tecnologia indossabile’) arriva nel 1968 presso l’Università dello Utah, quando l’informatico americano Ivan Sutherland inventa il primo display indossabile (*Head-Mounted*

*Display*, HMD). Tramite due tubi a raggi catodici ed elementi ottici il dispositivo proiettava le immagini generate dal computer e consentiva agli utenti di vedere immagini 3D sovrapposte ad oggetti reali. A causa dell'elevato peso, questo primo prototipo di visore veniva sostenuto da un braccio meccanico collegato al soffitto e, proprio grazie alla sua struttura, guadagnò l'appellativo di “*The Sword of Damocles*”, ‘la spada di Damocle’. Negli anni a seguire, Sutherland superò le limitazioni del primo modello creando dei video-caschi, più leggeri e maneggevoli.

Il valore rivoluzionario di tali invenzioni, tuttavia, non viene subito colto dal grande pubblico e dalle aziende. Il vero *boom* dei visori e della realtà virtuale arriva solo intorno ai primi anni del 2000 quando il giovane imprenditore americano Palmer Luckey dà vita all'ormai conosciutissimo visore *Oculus VR*. Successivamente, un ruolo centrale nello sviluppo di questa tecnologia è svolto dall'azienda Google che nel 2014 propone il famoso modello di visore VR in cartone chiamato *Google Cardboard*. Quest'ultimo combina un visore, disponibile in diverse varianti economiche e semplici da utilizzare, e un'applicazione gratuita per smartphone. Da allora gli smartphone sono stati utilizzati come sistema di visualizzazione e si sono diffuse nel mercato molte versioni di visori, più o meno sofisticate e costose.

Tra XX e XXI secolo, dunque, l'industria VR e AR è fortemente evoluta, estendendo il suo ambito applicativo da settori specifici, come simulazione di volo e addestramento del personale militare, a quasi tutti i settori attualmente di rilievo, come formazione, pubblicità e marketing, intrattenimento e gioco e altro ancora. Alcuni campi dell'istruzione, tra cui quello scientifico e medico, sono stati rivoluzionati con l'introduzione di queste tecnologie e negli ultimi anni si sono diffusi numerosi software e applicazioni VR o AR a scopo formativo, rivolte sia a adulti (ad esempio per azioni di *modeling* in campo lavorativo) che a bambini.

### 2.7.1 *Potenzialità e sfide*

L'utilizzo delle tecnologie immersive nel settore educativo si è rivelato prezioso per promuovere l'apprendimento di varie discipline, da quelle scientifiche (Tsvitanidou, Georgiou, & Ioannou, 2021; Sun & Chen, 2020; Schutera *et al.*, 2021; Gopalan, Zulkifli, & Aida, 2016) a quelle umanistiche e artistiche legate all'apprendimento di lingue, arti visive e patrimonio culturale (Alizadeh, 2019; Pinto *et al.*, 2021; Chin & Wang, 2021).

Le tecnologie di VR e AR supporterebbero inoltre la motivazione (Gopalan, Zulkifli, & Aida, 2016; Di Serio, Ibáñez, & Delgado Kloos,

2013) e principi di apprendimento costruttivo (Chen, 2009; Huang, Rauch, & Liaw, 2010).

Le simulazioni VR immersive attraverso gli HMD costituiscono attualmente un prezioso valore aggiunto all'insegnamento e all'apprendimento delle discipline scientifiche. L'esposizione ad ambienti simulati si rivela infatti molto efficace per l'apprendimento delle scienze (Chen, Huang, & Chou, 2017) e quindi per favorire la già citata educazione STEM (Soroko *et al.*, 2021). Uno dei principali vantaggi degli HMD è la capacità di creare visualizzazioni stereoscopiche 3D che supportano la comprensione da parte degli studenti di teorie scientifiche complesse, fenomeni astratti (Tsivitanidou, Georgiou, & Ioannou, 2021) o oggetti e spazi generalmente non accessibili fisicamente agli studenti. Pensiamo ad esempio alla visualizzazione del flusso d'aria simulato intorno a un'automobile, l'anatomia del corpo umano o la teoria della relatività. La VR "trasporta" gli studenti in un'altra dimensione, dove non si limitano ad osservare, ma interagiscono con il mondo digitale e ricevono feedback da tali interazioni. Grazie all'immersione mentale e fisica, tali ambienti consentono di imparare facendo pratica e di acquisire nuove conoscenze in modo simile a come farebbero nel mondo reale (Pinto *et al.*, 2021). Rispetto alla fruizione tramite un tradizionale schermo, indossare un HMD aumenta il campo visivo dell'utente sull'ambiente virtuale, incrementando le risposte emotive agli stimoli audiovisivi (Gall & Latoschik, 2020). L'interazione per mezzo di sensi e dispositivi genera spesso una sensazione molto intuitiva per l'utente. In un recente studio di Tan, Chye e Teng (2022) sull'efficacia di ambienti virtuali immersivi per l'apprendimento sociale ed emotivo, gli autori rilevano forti legami tra i concetti di immersione, presenza, *embodiment* e sviluppo di competenze sociali ed emotive. Nella maggior parte dei partecipanti, infatti, si riscontra un maggiore impatto sull'assunzione di prospettiva altrui e sull'empatia. A tal proposito, molto interessante è lo studio di Sülter, Ketelaar e Lange (2022) riguardo l'utilizzo dell'app VR *SpeakApp-Kids!* con studenti di scuola primaria come strumento educativo per la pratica del linguaggio e per ridurre l'ansia di parlare in pubblico. Il confronto ripetuto con un pubblico virtuale realistico, che simulava una classe di bambini, ha permesso agli alunni di esperire emozioni negative legate al temuto giudizio da parte del pubblico, modificando così le cognizioni disadattive (ad esempio diminuzione del nervosismo soggettivo e riduzione della percezione negativa della valutazione) e attenuando la risposta fisiologica alla paura (ad esempio diminuzione della frequenza cardiaca soggettiva). Infine, un esempio di esperienza con VR collaborativa per favorire apprendimento autentico viene presentato da Han e Resta (2020). Nel loro studio di caso gli autori indagano i cambiamenti di

prospettiva degli studenti universitari durante la partecipazione ad un corso on-line tenuto congiuntamente tra Stati Uniti e Israele. I partecipanti si sono incontrati virtualmente, con cadenza settimanale, sulla piattaforma VR *Second Life* per svolgere progetti collaborativi. Le prospettive di apprendimento degli studenti sono cambiate in modo significativo tra le varie fasi di apprendimento, passando da uno stato di eccitazione iniziale, in fase progettuale, legato alla novità dell'esperienza, a una maggiore attenzione per le componenti legate alla "comunità di apprendimento". Gli autori individuano quindi tre possibili fattori che hanno permesso l'apprendimento autentico in questo ambiente: (1) l'assunzione di ruoli multipli in classe; (2) la presenza sociale attribuita alla collaborazione; (3) i cambiamenti nelle percezioni dei partecipanti dalla fase di progettazione a quella di partecipazione.

Quest'ultima esperienza richiama un'ulteriore tematica molto discussa per il suo impatto sul coinvolgimento e risultati degli studenti, ovvero l'unione tra VR e *gamification* (Kim *et al.*, 2018). La *gamification* può essere definita come l'uso di approcci e meccanismi ludici in contesti di per sé non ludici (Kapp, 2012; Bruni, 2019). Uno dei principali vantaggi della *gamification* è quello di rendere gli studenti attivi attraverso esperienze di apprendimento partecipativo (Glover, 2013). Tuttavia, per garantirne l'efficacia ai fini dell'apprendimento, è importante predisporre interventi che stimolino la motivazione intrinseca degli alunni (Buckley & Doyle, 2016) e non solo quella legata al gioco e alle ricompense. I processi di *gamification* implicano quindi un'attenta calibrazione di meccanismi (come punteggi, *badges* e classifiche), strategie (come narrazione e alternanza tra realtà fisica e virtuale) e contesto. Rispetto alla variabile contesto, un recente studio esplorativo di Asad e colleghi (2022) riscontra un effetto significativo della VR sull'apprendimento esperienziale di studenti universitari, ma individua come fattore predittore di alta significatività la natura *user-friendly* delle tecnologie VR, in riferimento ad esigenze e problemi contestuali legati alla loro implementazione. Anche nell'educazione alle geoscienze, il ruolo del contesto e del lavoro sul campo diviene fondamentale. Rogers (2020) illustra l'utilità di ambienti VR semplici, accessibili e a basso costo utilizzati per lo studio di campioni geologici, ma facilmente trasferibili a qualsiasi ambito o argomento in cui risultino rilevanti gli spazi esterni. Il metodo introdotto utilizza l'app camera e i visori *Google Cardboard* per creare un'esperienza mini-immersiva. La maggioranza dei partecipanti ha risposto molto positivamente, ritenendo il metodo semplice e *user-friendly*. Grazie alle fotosfere sono riusciti a collegare alcuni elementi dell'insegnamento sul campo con il lavoro di laboratorio. La tecnologia scelta, infatti, era stata selezionata dagli autori, oltre che per il basso costo, la facilità d'uso e l'ampia

disponibilità, proprio per colmare la disparità tra il campo e il laboratorio (e potenzialmente anche casa/remoto) e arricchire l'esperienza di apprendimento. *Google Cardboard* è molto apprezzato dagli insegnanti per la sua economicità, facilità di montaggio e *stand-aloneness*. Il contenuto VR visualizzato con *Cardboard* è in realtà un video o una foto sferica o a 360° in cui gli utenti non possono muoversi per avvicinarsi agli oggetti circostanti. Tuttavia, pur presentando un livello inferiore di immersione rispetto ai visori più avanzati, è sufficientemente coinvolgente e, soprattutto, accessibile per l'uso in classe (Alizadeh, 2019).

Altri esempi pratici di VR facilmente applicabili in classe sono riportati da Alizadeh (2019) che, nello specifico, approfondisce le funzionalità dei già citati *Google Cardboard* e le piattaforme *Google Expeditions* e *Tour Creator*. *Google Expeditions* è una piattaforma educativa VR sviluppata da Google che consente di effettuare viaggi virtuali in tutto il mondo. Al momento del lancio, nel 2015, erano disponibili circa 500 tour, che da allora risultano raddoppiati. Le spedizioni consistono in foto a 360° arricchite con descrizioni e contrassegnate da specifici punti di interesse, chiamati "spazi". Il grande vantaggio offerto è quello di poter visitare virtualmente in prima persona luoghi generalmente studiati tramite testi, immagini e video e altrimenti non raggiungibili per problemi di tempo, distanza geografica o sicurezza, come i siti dei disastri nucleari di Fukushima in Giappone, il Monte Everest, Machu Picchu, la stazione spaziale internazionale o la grande barriera corallina. Nel 2018, Google ha poi rilasciato la piattaforma *Tour Creator*<sup>53</sup> che consente di creare tour VR personalizzati tramite *Google Street View* o foto a 360° scattate con fotocamere sferiche, senza alcuna conoscenza di coding. I tour possono essere arricchiti con punti di interesse e immagini 2D per un'esplorazione più dettagliata ed essere pubblicati o condivisi privatamente nella libreria di contenuti 3D di Google.

Alizadeh (2019, p. 24) riassume inoltre efficacemente i principali apporti attribuibili alla VR in campo educativo:

- fornire rappresentazioni multiple della realtà immergendo gli studenti in ambienti di apprendimento virtuali;
- rappresentare la naturale complessità del mondo reale esponendo gli studenti a contenuti immersivi che si concentrano sul quadro generale dei fenomeni prestando attenzione ai dettagli e rappresentando le complesse interazioni tra le componenti di un sistema (spesso sottorappresentate nei contenuti didattici del Web 2.0 tradizionale);

<sup>53</sup> <https://vr.google.com/tourcreator/>.

- concentrarsi sulla costruzione della conoscenza, consentendo agli studenti di interagire tra loro in modo da scoprire fatti autonomamente, anziché essere solamente esposti a fatti relativi ad un dato argomento;
- presentare compiti autentici trasportando virtualmente gli studenti in contesti diversi, ad esempio consentendo loro di esercitare le abilità di presentazione in presenza di un pubblico simulato per superare l'ansia da *public speaking*;
- fornire ambienti di apprendimento basati su casi reali, consentendo un apprendimento personalizzato e l'adattamento ai vari stili di apprendimento, nonché permettendo ai discenti di scoprire e costruire la conoscenza secondo il proprio ritmo e ordine;
- favorire la pratica riflessiva tramite i diversi sensi, a seconda del livello di configurazione dell'ambiente di apprendimento VR, facilitando così la riflessione sull'azione e nell'azione (Schön, 1983);
- consentire la costruzione di conoscenza legata al contesto e al contenuto, fornendo contenuti arricchiti dal contesto e compiti di problem-solving *gamificati* e facendo un uso appropriato delle conoscenze pregresse degli studenti.

Anche l'AR, ponendosi tra reale e virtuale, stimola l'interazione con l'ambiente circostante e gli oggetti virtuali e, grazie al rapido progresso dei dispositivi mobili, risulta accessibile senza limiti di tempo e di luogo. Numerosi studi hanno evidenziato le potenzialità dell'AR nel migliorare le abilità spaziali, le competenze pratiche, la comprensione concettuale e l'apprendimento per indagine scientifica in contesti reali. Per citarne alcuni, Shelton e Hedley (2002) esplorano l'uso dell'AR per insegnare agli studenti universitari le relazioni terra-sole in termini di inclinazione assiale e solstizi. Dall'analisi delle interazioni fisiche degli studenti con l'interfaccia AR e di quelle verbali con il loro tutor emerge che gli studenti che hanno ottenuto maggiori cambiamenti nella comprensione hanno manipolato l'immagine virtuale in un ciclo di "muovi, esamina e muovi di nuovo". La possibilità di ruotare l'immagine e vederla da diverse prospettive ha quindi consentito di mettere in discussione le idee errate e costruire una nuova comprensione. Similmente, Schutera e colleghi (2021) presentano risultati promettenti rispetto all'uso dell'app *cleARmaths*, appositamente sviluppata per superare sfide legate alla geometria vettoriale e alle equazioni parametriche in una scuola superiore, mentre Sun e Chen (2020) riportano i risultati della sperimentazione di MAR (*Mobile Augmented Reality*), un programma di insegnamento correttivo per assistere studenti di scuola primaria nella risoluzione di problemi di geometria e promuovere abilità spaziali. Gli autori evidenziano il maggior progresso ottenuto dal gruppo sperimentale rispetto a quello di controllo, grazie alla possibilità di risolvere i problemi

manipolando gli oggetti virtuali in 3D. Anche Ibáñez e colleghi (2014) ricorrono ad uno studio comparativo per testare l'utilizzo di un'applicazione web AR al fine di imparare i principi di base dell'elettromagnetismo nelle scuole superiori. Lo studio suggerisce che l'AR può essere sfruttata come ambiente di apprendimento efficace purché vi sia un attento equilibrio tra il supporto fornito della tecnologia e la difficoltà del compito. L'apprendimento, infatti, potenziato attraverso sensi ed emozioni impatterebbe sulla comprensione dello studente e si dimostrerebbe più efficace e duraturo (Rasalingam *et al.*, 2014; Hair *et al.*, 2006). Rimanendo in ambito scientifico, Squire e Jan (2007) testano un programma di studio in AR, *Mad City Mystery*, per supportare l'apprendimento delle scienze ambientali e la capacità di argomentare. Attraverso il gioco, gli studenti sono chiamati a sviluppare resoconti narrativi dei fenomeni scientifici. Ancora, Chin e Wang (2021) riportano un esperimento per valutare l'impatto di un *AR-based mobile touring system* introdotto in un corso universitario sui beni culturali. Il sistema proposto ha migliorato in modo significativo i risultati di apprendimento degli studenti, incidendo particolarmente su interesse situazionale e *task-based*, che a sua volta aumenterebbe l'interesse personale a lungo termine verso i materiali del corso. Infine, Gopalan, Zulkifli e Aida (2016) propongono l'utilizzo dell'AR per incidere sulla motivazione allo studio delle scienze, visto il continuo calo degli studenti che intraprendono professioni legate all'ambito scientifico-tecnologico. Gli studiosi hanno quindi ideato l'app *eSTAR* per migliorare il libro di testo di scienze di una scuola secondaria di primo grado e hanno poi analizzato il rapporto tra alcuni suoi attributi (facilità d'uso, coinvolgimento, piacere e divertimento) e motivazione all'apprendimento delle scienze. I risultati forniscono un supporto empirico alla relazione positiva e statisticamente significativa tra la motivazione e i vari campi indagati, ad eccezione della facilità d'uso. Quest'ultimo dato sarebbe però riconducibile alla poca familiarità degli studenti con il nuovo ambiente di apprendimento.

Come per le altre tecnologie presentate, i valori educativi dell'AR e della VR non dipendono solo dall'utilizzo delle tecnologie, ma sono anche strettamente legati al modo in cui le attività vengono progettate, implementate e integrate nella didattica (Alizadeh, 2019; Rogers, 2020; Chin e Wang, 2021; Marks & Thomas, 2021). In caso contrario, l'esperienza può condurre a esiti negativi, come frustrazione, sovraccarico cognitivo e una ridotta efficienza. A tal proposito, molta rilevanza assumono i cosiddetti *feedback loops* (Carless, 2019) da integrare in qualsiasi insegnamento che utilizzi tali tecnologie innovative, al fine di facilitarne la resa e il miglioramento. Inoltre, Marks e Thomas (2021) ricordano la necessità di predisporre un'adeguata infrastruttura tecnologica per ridurre disagi dal



punto di vista fisico, come mal di testa e cinetosi, comunemente chiamata *cybersickness* (Cassani *et al.*, 2020).

Kerawalla e colleghi (2006) nel loro studio esplorativo propongono e testano un'alternativa ai classici HMD per rimediare ai problemi legati a costo e disagi fisici. Sperimentano infatti un'interfaccia "specchio virtuale" che si serve di uno schermo di un computer o di una LIM per rendere il materiale contemporaneamente visibile a più spettatori, supportando un apprendimento collaborativo e assistito. Gli studiosi traggono inoltre alcuni requisiti di progettazione per applicazioni efficaci e sostenibili di AR in classe: (1) il contenuto della AR deve essere flessibile, in modo che gli insegnanti possano adattarlo alle esigenze dei singoli bambini. Deve essere quindi possibile aggiungere e rimuovere elementi e modificare la velocità delle animazioni; (2) i sistemi AR devono fornire il materiale curricolare rispettando i tempi previsti per i metodi di insegnamento più tradizionali; (3) i bambini devono essere in grado di esplorare i contenuti della AR e questa esplorazione deve essere accuratamente organizzata in modo da massimizzare le opportunità di apprendimento; (4) lo sviluppo di applicazioni didattiche AR deve tenere in considerazione la natura e i vincoli del contesto istituzionale in cui viene introdotta. Ciò suggerisce che si possono ottenere benefici da un approccio progettuale incentrato sull'utente.

In riferimento all'istruzione superiore, la mancanza di ricerche su studi longitudinali relativi all'adozione di innovazioni rende difficile per le istituzioni educative prendere decisioni informate sulla tecnologia VR e AR e giustificare grandi investimenti centralizzati per l'apprendimento (Marks & Thomas, 2021). Per migliorare l'adozione di innovazioni come quelle presentate è importante fornire agli educatori un supporto interno per la creazione di contenuti di qualità, attraverso piani di formazione e *frameworks* didattici. Ciò assume ancor più rilevanza visto il recente investimento sulla didattica a distanza sollecitato dall'emergenza sanitaria Covid-19. Con una buona progettazione, la VR potrebbe infatti superare in parte il divario tra l'insegnamento *face-to-face* e le attuali carenze dell'apprendimento a distanza (Marks & Thomas, 2021).

Alalwan e colleghi (2020) evidenziano come nella maggior parte dei Paesi in via di sviluppo, la VR e la AR rappresentano tecnologie "nuove" per gli insegnanti della scuola primaria. Gli autori hanno indagato le percezioni degli insegnanti della scuola primaria su sfide e prospettive legate all'utilizzo di tali tecnologie nell'insegnamento delle materie scientifiche. I risultati dello studio evidenziano che entrambe le tecnologie possono essere utilizzate per promuovere un comportamento esplorativo, percepire l'utilità e sviluppare un atteggiamento positivo verso l'apprendimento. Ciò sarebbe possibile grazie alla telepresenza, all'esperienza immersiva, alla sensazione

di essere “presenti” e all’adattamento dello stile di apprendimento degli studenti (Christopoulos, Conrad, & Shukla, 2018). Sperimentando ambienti di apprendimento *case-based*, gli studenti possono infatti personalizzare l’apprendimento in base ai propri ritmi e stili di apprendimento (Alizadeh, 2019). Nello specifico, l’AR viene percepita maggiormente utile dagli insegnanti rispetto alla VR, in quanto associata a funzioni di semplice utilizzo che richiedono un minor tempo per essere padroneggiate dagli utenti e non necessitano della connessione ad Internet. Come principali aspetti critici si rilevano invece la mancanza di competenza, di tempo e di attenzione focalizzata e limitazioni relative a risorse ambientali e progettazione didattica.

Lo studio pone inoltre in evidenza, ancora una volta, la mancanza di pratica da parte degli insegnanti nel padroneggiare la tecnologia VR e quindi la necessità di essere aggiornati e formati su queste pratiche innovative. La comprensione delle sfide legate all’utilizzo di VR e AR nell’insegnamento delle materie scientifiche costituisce infatti, secondo gli autori, la base per individuare misure, esperienze e pratiche necessarie a riflettere efficacemente sulle tendenze attuali e a sostenere la capacità di cambiamento educativo.

### **3. *Makers at school*: esempi di pratiche per introdurre l'approccio Maker a scuola**

Nonostante il crescente interesse per l'implementazione della cultura Maker nei contesti educativi, la ricerca empirica attorno a tale tema risulta carente (Papavlasopoulou, Giannakos & Jaccheri, 2017). Numerosi studi evidenziano, infatti, la necessità di esplorare il potenziale del *Maker approach* in relazione alle pratiche pedagogiche delle prime fasce educative (Pepler, Halverson, & Kafai, 2016), in quanto la maggior parte della ricerca è rivolta a gradi di istruzione superiore o a contesti informali. Il presente capitolo mira, dunque, a presentare gli esiti di una revisione di esperienze condotte nel setting scolastico a livello internazionale.

La revisione è stata redatta nei mesi di Gennaio e Febbraio 2020, facendo riferimento ai sei step delineati da Machi e McEvoy (2016): selezionare un topic (riconoscere e definire il problema), sviluppare mezzi di argomentazione (creare un processo per risolvere il problema), indagare la letteratura (raccolgere e organizzare le informazioni), esaminare la letteratura (scoprire le prove e costruire i risultati), criticare la letteratura (trarre una conclusione) e scrivere la revisione (comunicare e valutare la conclusione).

Per quanto concerne il primo step, il focus è stato posto sulle caratteristiche distintive dell'approccio Maker, al fine di comprendere come esso possa relazionarsi al contesto scolastico e rispondere alle sfide educative della società contemporanea. A fronte della scarsità di dati riguardanti le interazioni fra il movimento Maker e l'educazione primaria, si è scelto poi di restringere il campo di indagine a tale grado di istruzione. Sono state dunque definite le seguenti domande di ricerca:

1. In base alle esperienze condotte, come può essere introdotto l'approccio maker nella scuola primaria?
2. Quali ricadute e sfide possono derivare dalla sua messa in atto?

Per l'indagine della letteratura sono stati scelti tre database: EBSCO (*Education Research Complete*), Scopus e Web of Science. Sono stati poi

predisposti i seguenti topics e operatori booleani di ricerca: Makerspace OR Maker Movement AND Primary Education AND Primary School.

Per un primo filtraggio dei risultati, la ricerca è stata limitata ad articoli e atti di conferenze pubblicati nei cinque anni precedenti (2016-2020). La prima ricerca ha prodotto 166 risultati in EBSCO, 22 in Scopus e 187 in Web of Science. Per la fase di selezione, prevista dal terzo step, sono stati definiti dei criteri di inclusione ed esclusione, di seguito riportati.

Si è scelto di includere articoli/atti incentrati su:

- esperienze rivolte a studenti di scuola primaria, senza vincoli riguardo le discipline coinvolte;
- esperienze volte a mettere in luce le ricadute e gli effetti sugli studenti e sul loro apprendimento.

Si è scelto invece di escludere articoli/atti riguardanti:

- aspetti unicamente teorici o revisioni;
- esperienze condotte in scuole dell'infanzia, scuole secondarie e università;
- esperienze svoltesi in contesti informali, online o nel dopo scuola;
- proposte di valutazione di sperimentazioni o esperienze maker.

In riferimento ai suddetti criteri, i risultati di ricerca sono stati inizialmente vagliati in base all'abstract, per giungere poi, mediante un'accurata lettura dei contributi individuati, alla selezione di 7 articoli (4 EBSCO e 3 Web of Science) e di 1 atto di conferenza (Scopus). Tale operazione è stata supportata dall'elaborazione di tabelle, volta a mettere in luce, oltre ai dati bibliografici (vedi Tab. 1), altri elementi di interesse come discipline/campi principalmente coinvolti, periodo, contesto, target, scopo e metodologia (vedi Tab. 2).

Come evidenziato dalla Tab. 2, gli articoli sono prevalentemente orientati alle discipline STEAM; tuttavia, essi si differenziano per intento, contesto di riferimento e periodo di durata. In particolare, per quanto concerne il contesto, le sperimentazioni sono così dislocate: Stati Uniti d'America [2, 5, 6], Australia [4], Europa [1, 8], Regno Unito [7] e Asia [3]. In base al target, invece, si dividono in: primi anni di scuola primaria [4, 7], ultimi anni [1, 3, 8] ed intera fascia di istruzione primaria [2, 5, 6].

Il terzo step si è dunque concluso con una fase di organizzazione dei dati che ha condotto allo sviluppo delle tabelle menzionate e di mappe fondate su idee o termini chiave (*core idea* o *key term maps*). I seguenti sottoparagrafi esplicitano gli esiti dei due successivi step (indagine e critica della letteratura), al fine di rispondere ai quesiti di ricerca delineati.

Tab. 1 – Articoli selezionati: front.

<i>N</i>	<i>Autori</i>	<i>Titolo</i>	<i>Anno</i>	<i>Rivista</i>	<i>Vol.</i>	<i>Pagine</i>
1	Kajamaa & Kumpulainen	Agency in the making: analyzing students' transformative agency in a school-based makerspace	2019	Mind Culture, and Activity	26 (3)	266-281
2	Vongkulluksn, Matewos, Sinatra <i>et al.</i>	Motivational factors in makerspaces: a mixed methods study of elementary school students' situational interest, self-efficacy, and achievement emotions	2018	International Journal of Stem Education	5 (1)	1-19
3	Blackley, Rahmawati, Fitriani <i>et al.</i>	Using a Makerspace approach to engage Indonesian primary students with STEM	2018	Educational Research	28 (1)	18-42
4	Baroutsis & Towers	Makerspaces: Inspiring writing in young children	2017	Practical Literacy: The Early & Primary Years	22 (3)	32-34
5	Robbins & Smith	Robo/graphy: Using Practical Arts-Based Robots to Transform Classrooms into Makerspaces	2016	Art Education	69 (3)	43-51
6	Bull, Schmidt-Crawford, McKenna & Cohoon	Storymaking: Combining Making and Storytelling in a School Makerspace	2017	Theory Into Practice	56 (4)	271-281
7	Marsh, Wood, Chesworth, Nisha, Nutbrown & Olney	Makerspaces in early childhood education: principles of pedagogy and practice	2019	Mind, Culture, and Activity	26 (3)	221-233
8	Iivari, Kinnula & Molin-Juustila	You Have to Start Somewhere - Initial Meanings Making in a Design and Making Project	2018	Proceedings of the 17th International Conference for Interaction Design and Children	/	80-92

Tab. 2 – Articoli selezionati: back.

<i>N</i>	<i>Campi</i>	<i>Periodo</i>	<i>Contesto</i>	<i>Target</i>	<i>Scopo</i>	<i>Metodologie</i>
1	STEAM	1 semestre	Finlandia	94 studenti, 9-12 anni (campione: 4 studenti, 10-11 anni)	Analizzare come la <i>transformative agency</i> degli studenti si manifesta nel tempo in un makerspace scolastico digitalmente potenziato	Trascrizioni delle registrazioni video, note sul campo
2	STEM	1 semestre	Sud California, USA	100 studenti, 8-12 anni	Esplorare i processi motivazionali che si verificano durante un programma maker <i>design-based</i>	Questionari, osservazioni con note sul campo, interviste audio registrate e trascritte
3	Scienze	1 mese	Nord Giacarta, Indonesia	291 studenti, 10-12 anni	Esaminare l'impegno degli studenti e le loro riflessioni su un approccio maker per la creazione di un artefatto STEM	Sondaggio su carta con disegni e domande a risposta chiusa e aperta, osservazioni, foto e video
4	Scrittura	2 sessioni (durata non specificata)	Woodridge, Australia	6-7 anni	Ispirare giovani studenti a scrivere attraverso attività maker	Domande orali, video, foto, ebooks collaborativi, attività di follow-up con scrittura individuale
5	Arte	Settimane/ mesi a seconda del livello	Texas, USA	6-12 anni	Dimostrare come i makerspace siano la naturale evoluzione dell'aula di arte contemporanea e incoraggiare gli insegnanti d'arte a realizzare interventi di robotica/arte in classe	Brainstorming, domande orali a risposta aperta, foto, esposizioni

<i>N</i>	<i>Campi</i>	<i>Periodo</i>	<i>Contesto</i>	<i>Target</i>	<i>Scopo</i>	<i>Metodologie</i>
6	Storytelling	6 settimane	Virginia, USA	6-12 anni	Verificare la fattibilità dell'impiego di un makerspace per combinare making e storytelling	Foto, video, esposizioni
7	STEAM	Non specificato	Nord Inghilterra	28 studenti, 6-7 anni; 60 studenti, 7-8 anni	Ricerchare ruolo e potenziale dei makerspace nell'apprendimento o dei bambini e in relazione a tre aree di influenza: personale, relazionale e istituzionale	Appunti sul campo, video da camera fissa, mobile e gopro, foto, interviste ad insegnanti
8	Matematica	11 settimane	Finlandia	20 studenti, 10-11 anni; 18 studenti, 11-12 anni	Studiare la varietà di modi in cui i bambini si avvicinano inizialmente al design e al making e sviluppano un rapporto significativo con essi	Interviste, questionari, notebooks, video

### 3.1 Sintesi delle esperienze

Per rispondere al primo quesito, vengono di seguito riportate le varie esperienze descritte negli articoli selezionati, che possono fungere da modelli per introdurre l'approccio Maker nel contesto scolastico, in particolare nella scuola primaria. Le esperienze sono organizzate e presentate in base alla variabile target. Tali attività sono per la maggior parte scandite da sessioni o fasi di complessità crescente; alcune, inoltre, prevedono l'impiego di oggetti e strumenti di uso comune o *low-tech*, mentre altre richiedono in prevalenza una strumentazione *high-tech*.

### 3.1.1 Primi anni di scuola primaria [4, 7]

Focalizzandosi sui primi anni di istruzione primaria, Baroutsis e Towers (2017) [4] propongono due sessioni makerspace per una classe prima, volte a ispirare giovani alunni alla scrittura attraverso la creazione di un artefatto e la successiva produzione di una storia scritta o multimodale su di esso e/o sul processo di realizzazione. Le attività fanno parte di un progetto finanziato dall'*Australian Research Council* sul tema *Learning to write in the early years*. La prima sessione, intitolata "*Trap the witch*" e ispirata alla fiaba di Hansel e Gretel, consiste in un'attività di problem-solving strutturata nelle seguenti fasi: lettura della storia da parte dell'insegnante e presentazione delle scatole rappresentanti i personaggi, breve sessione di domande e risposte, lavoro di gruppo volto a pianificare la trappola per la strega e a identificare i materiali necessari tra quelli forniti (cartone, scovolini, bastoni a paletta, forbici, spago, nastro adesivo, nastri, tappi di bottiglia e cannucce), costruzione della trappola e test per verificarne il funzionamento. Gli alunni procedono poi all'attività di scrittura collaborativa su quanto esperito, servendosi di iPad e dell'app *Book Creator* e seguendo le linee-guida fornite dall'insegnante (*Una copertina della storia con scritto 'Trappola per la strega', 'I membri del gruppo sono: ...', 'La storia parlava di ...', 'La sfida era ...', 'Mi è piaciuto ...'*). Gli eBooks vengono quindi convertiti in video e mostrati ai compagni, nonché ai genitori in occasione di un *Literacy party*. È prevista infine un'attività di scrittura individuale come momento di *follow-up* conclusivo, volta a far emergere, attraverso domande stimolo, altri aspetti della storia ("*Come si è sentita la strega quando i bambini hanno distrutto la sua casa?*" oppure "*Come si sono sentiti i bambini quando sono stati intrappolati?*"). La seconda sessione "*Something interesting that happened last week*" prende avvio, come si evince dal titolo, dalle esperienze degli studenti raccolte in una fase di brainstorming iniziale. Gli eventi della settimana precedente rievocati forniranno l'ispirazione per pensare e decidere cosa creare e scrivere. Gli alunni lavorano individualmente all'attività di creazione e, al termine di questa, viene allestita una galleria in classe per esporre i lavori di ciascuno. Infine, per la fase di scrittura individuale, vengono fornite due frasi di avvio (*'Ho fatto...'* e *'Mi piace...'*), utili in particolar modo a chi necessita di uno stimolo per iniziare a scrivere.

Anche Marsh e colleghi (2019) [7] presentano due studi di caso rivolti ai primi anni della scuola primaria. Le attività proposte derivano dal progetto MakeEY (*Makerspaces in the Early Years: Enhancing Digital Literacy and Creativity*), fondato sulla collaborazione tra sette paesi Europei e l'inclusione di tre musei nella Bay Area degli Stati Uniti. In entrambi i setting di sperimentazione sono stati ricreati dei makerspace pop-up in cui sono state



implementate attività con topics diversi, ma simili per scopo, struttura e modalità di utilizzo della tecnologia, indubbiamente maggiore rispetto alle prime due attività descritte. La prima sperimentazione ha coinvolto una classe di 28 alunni di 6-7 anni al fine di sviluppare immaginazione e creatività a partire ancora una volta da una storia, presentata però in forma teatrale. Gli alunni assistono a uno spettacolo di burattini raffiguranti i *Moomins*, personaggi ideati dalla scrittrice finlandese Tove Jansson; a seguire, viene chiesto loro di disegnare su tavole di legno i personaggi della storia, che saranno poi tagliati con una *laser cutter*. Tali personaggi vengono quindi liberamente usati dai bambini per sperimentare scene all'interno di una scatola di scarpe che funge da teatro. Si passa così alla scrittura di sceneggiature di gioco per i teatri e alla creazione di *Moomins* in argilla. Questi ultimi vengono scansionati attraverso l'app *Qlone* e stampati mediante una stampante 3D. Infine, i modellini in 3D ottenuti, potranno essere usati, assieme a quelli in argilla, per realizzare un film di animazione con l'app *iMotion* o per creare una realtà virtuale *Moominvalley*, dopo averli importati in *Google Tilt Brush*. La seconda sperimentazione, che ha visto coinvolte due classi parallele di alunni di 7-8 anni, ha come topic "*Imaginary playspaces*" e come scopo quello di creare scenari di gioco immaginari mediante la realtà virtuale. Il primo step consiste nell'identificare e fotografare gli spazi di gioco preferiti dagli alunni nel proprio quartiere; una volta stampate, le foto vengono poi utilizzate come base per un collage di spazi immaginari. In seguito, gli alunni riproducono con l'argilla alcuni elementi presenti nei loro spazi, che saranno poi scansionati attraverso l'app *Qlone* per creare modelli digitali 3D. Infine, come nella sperimentazione precedente, i modelli 3D vengono importati in *Google Tilt Brush* per realizzare uno scenario di gioco immaginario virtuale.

### 3.1.2 *Ultimi anni di scuola primaria [3, 1, 8]*

Tra le esperienze indirizzate agli ultimi anni di scuola primaria, molto interessante è il contributo di Blackley e colleghi (2018) [3]. Gli studiosi descrivono un modello trifasico per approcciarsi a un'attività maker che, nel caso in questione, ha coinvolto quattro scuole locali nella costruzione di un *Wiggle Bot*, un piccolo robot capace di muoversi e disegnare. Nella fase di esposizione, gli studenti vengono divisi in gruppi dall'insegnante, assistono alla presentazione del *Wiggle Bot* in azione da parte di un mentore e ricevono i kit contenenti i materiali. In questa fase, dunque, gli alunni si limitano ad osservare il funzionamento previsto del manufatto e il modo in cui le sue componenti lavorano insieme come sistema. Nella fase di coinvolgimento e

sperimentazione, i mentori guidano i gruppi ponendo domande di sondaggio (*“Se non ci fosse un interruttore nel kit, come potresti accendere e spegnere il Wiggle Bot?”*), domande *“what-if”* (*“E se cambiassi la posizione del piolo?”*) e domande volte allo scaffolding (*“Come potresti determinare le posizioni migliori per le gambe?”*). I tutor, a loro volta, rispondono alle domande degli studenti, incoraggiandoli a collaborare e a usare ragionamento logico e/o tentativi ed errori per creare un artefatto funzionante. Nella fase finale di valutazione ed estensione, gli studenti presentano i loro *Wiggle Bots* e vengono esortati ad analizzare il proprio artefatto in termini di funzionalità (*“Era equilibrato? Continuava a cadere? Che disegno ha creato il Wiggle Bot sulla carta? Cerchi concentrici o motivi più astratti? Perché? Il motore è stato fissato abbastanza saldamente? I fili ostruivano la rotazione del piolo?”*). In questa fase, dunque, gli studenti assistono per la prima volta al funzionamento del loro artefatto e, sulla base del feedback dato e ricevuto, vengono sollecitati ad apportare modifiche o a estendere il modello base del *Wiggle Bot*, anche in vista di una *“Battaglia dei Bots”*. I mentori, (insegnanti in pre-servizio) hanno svolto una sessione formativa precedente di tre ore, durante la quale i membri del team di ricerca li hanno accompagnati nello svolgimento del processo e li hanno preparati nella formulazione dei quesiti di sondaggio e *what-if*.

Ancor più autonomia viene concessa agli studenti nelle attività presentate da Kajamaa e Kumpulainen (2019) [1]. Tali attività si svolgono in un makerspace chiamato *“FUSE studio”*, un ambiente di apprendimento digitalmente potenziato che propone attività di design e making incentrate sulle discipline STEAM o su sfide volte ad accrescere l’interesse dello studente per un apprendimento collettivo e inclusivo. Gli studenti, infatti, partecipano al corso FUSE come veri designer competenti e come *«agentive solvers of challenges»* (Kajamaa & Kumpulainen, 2019, p. 4). Le sfide sono strettamente connesse alla vita quotidiana al di fuori dalla scuola e seguono la logica di base dei principi di progettazione dei videogiochi. Oltre ad istruzioni su come elaborare tali sfide, gli studenti hanno a disposizione vari strumenti come computer, stampanti 3D e altri materiali (gomma piuma, marmo, nastro adesivo e forbici). Lo studio FUSE, introdotto nel 2016 tra i corsi elettivi della scuola in risposta alle nuove esigenze curriculari, è stato originariamente creato da un team di ricercatori della Northwestern University negli USA. A causa della natura elettiva del corso FUSE, i gruppi che hanno preso parte allo studio erano composti da studenti di diverse classi e seguiti da due o quattro insegnanti e assistenti didattici. Nell’articolo selezionato, gli autori hanno scelto di esaminare nello specifico un campione di quattro studentesse di quinta primaria per un semestre scolastico. Le ragazze hanno frequentato settimanalmente lo studio e hanno

autonomamente deciso la composizione del loro gruppo e le sfide su cui lavorare, tra quelle presenti nel sito web FUSE<sup>54</sup>. Due insegnanti hanno assistito a tutte le sessioni FUSE svolte dal gruppo. Le sessioni selezionate ed esaminate dagli autori corrispondono a tre sfide: *Solar Roller* (45 min.), *Electric Apparel* (60 min.) e *Jewelry Designer* (due sessioni, circa 60 min.). “*The Solar Roller*”, la prima sfida scelta dalle alunne, mira a sviluppare la comprensione degli studenti sul funzionamento di un’automobile. Lo scopo, infatti, è quello di far muovere un’automobile caricandola con l’energia della lampada presente nel kit fornito. Il kit comprende anche un telaio per l’auto, un motore, fili per l’aggancio, un metro a nastro, due bandiere e tre pannelli solari di diverse dimensioni. Le alunne possono auto-accedere alle istruzioni e ai video tutorial sul sito web FUSE per portare a termine la sfida. Nella sessione successiva, le studentesse decidono di dividersi in coppie e una di queste si impegna nella sfida “*The Electric Apparel*”, volta a progettare e realizzare un capo di abbigliamento con luci LED ad esso collegate. Le due alunne lavorano inizialmente sull’accensione delle luci, per poi applicarle al capo di abbigliamento. Infine, le studentesse impiegano due sessioni FUSE per lavorare in gruppo alla sfida “*The Jewelry Designer*”, volta alla progettazione e alla realizzazione di un gioiello da indossare. Il gioiello viene dapprima co-pianificato e disegnato dalle alunne su carta e poi ritagliato con le forbici. Successivamente, le studentesse lo raffigurano anche su un computer tramite il programma *SketchUp*, per poi stamparlo con una stampante 3D. Infine, anelli, ganci e catenine vengono applicati ai gioielli stampati.

Il focus sui processi di design e making emerge chiaramente anche dallo studio di Iivari e colleghi (2018) [8], volto proprio a esaminare la varietà di modi con cui i bambini si avvicinano a tali attività e sviluppano un rapporto significativo con esse. Il progetto si inserisce nel quadro di una collaborazione a lungo termine tra i ricercatori della CCI (*Child Computer Interaction*) e le scuole locali, orientata a sostenere la reale partecipazione dei bambini e a offrire loro capacità e competenze di design e tecnologia. Il lavoro del gruppo di ricerca si è particolarmente ispirato alla tradizione scandinava del design partecipativo. I ricercatori hanno collaborato con un insegnante di matematica che ha avuto un ruolo rilevante in merito agli aspetti pedagogici del progetto; il docente ha infatti deciso quali classi e corsi coinvolgere, diviso gli studenti in gruppi (4-5 bambini ognuno), rivisto e commentato i progetti dei giovani ricercatori e assicurato la presenza del personale docente durante le varie attività. L’obiettivo condiviso, sviluppato dal team per il lavoro degli alunni, era quello di creare un gioco da tavolo

<sup>54</sup> [www.fusestudio.net](http://www.fusestudio.net).

interattivo con più stazioni di gioco, ideate e realizzate liberamente dai gruppi. Oltre a un robot *Dash*, utile a collegare le singole stazioni, i ricercatori hanno fornito anche altri strumenti da utilizzare potenzialmente nel progetto: *Touch Board*, *Makey Makey*, *Lego education WeDo 2.0* e *Workshop Kit Freewheeler*. La sperimentazione si è sviluppata in dieci sessioni, per la durata complessiva di undici settimane. Nell'incontro introduttivo (prima sessione) i ricercatori hanno presentato agli alunni il concetto di FabLab e l'obiettivo del progetto. Gli alunni, divisi in gruppi, hanno poi discusso i loro interessi legati al gioco, alla programmazione e all'uso delle tecnologie informatiche e hanno compilato un questionario relativo agli argomenti di discussione. Nell'incontro successivo (seconda sessione) i ricercatori hanno descritto il percorso di lavoro, l'idea del gioco da tavolo, il compito generale e gli strumenti, mostrando dei video sul loro utilizzo; hanno inoltre assegnato dei compiti a casa per iniziare a ideare le stazioni di gioco. Due sessioni sono state poi dedicate al design. La prima è iniziata dividendo gli alunni in gruppi e discutendo le regole del lavoro di gruppo. Ogni gruppo ha quindi ideato un tema e scelto gli attori per la propria stazione di gioco per poi disegnare e descrivere quest'ultima sul quaderno. La seconda sessione è stata invece dedicata alla presentazione più dettagliata degli strumenti del FabLab (taglierina laser, stampante 3D, ecc.) e all'ideazione di uno *storyboard* (ovvero una serie di immagini o disegni che illustrano la sequenza di una storia) da parte di ogni gruppo. Alle due sessioni di design, sono seguite cinque sessioni di making. Nella prima è stato consegnato il materiale per le stazioni di gioco (una scatola di cartone, fogli di cartoncino colorato, colla e diversi tipi di materiale artistico e artigianale) ed è iniziato il lavoro di creazione. Nella seconda, gli alunni hanno testato l'uso degli strumenti nelle aule *craft* della scuola, valutando quali potevano essere più adatti per i loro progetti. Nella terza sessione, è proseguita l'implementazione del gioco, combinando gli strumenti con le stazioni di gioco. Nella quarta, gli alunni e l'insegnante si sono recati nel FabLab dell'Università per modellare e realizzare gli oggetti necessari ai loro giochi ed infine, nell'ultima, gli studenti hanno assemblato e ultimato le loro stazioni. L'incontro conclusivo è stato dedicato al gioco. I ricercatori hanno allestito nella biblioteca della scuola un tabellone comprendente le varie stazioni. Durante il gioco, gli alunni si spostavano tra le postazioni programmando il robot *Dash* per seguire la "pista" che conduceva alla postazione successiva; in seguito, hanno valutato tutte le stazioni di gioco, elaborando un feedback costruttivo e idee di miglioramento. La settimana seguente gli studenti hanno compilato un questionario di feedback sull'esperienza e hanno partecipato ad interviste a coppie o a gruppi di tre.

### 3.1.3 Intera fascia di istruzione primaria [6, 5, 2]

Per quanto concerne le tre sperimentazioni rivolte all'intera fascia di istruzione primaria, un apporto interessante è quello fornito da Bull e colleghi (2017) [6], incentrato su un'attività di *Storymaking*. Il termine è stato utilizzato dall'ex presidente dell'*Organization of Teacher Educators in Literacy*, Ayn Keneman, per indicare le attività che combinano making e storytelling attraverso la creazione di diorami animati. L'obiettivo è infatti quello di permettere agli studenti di comprendere come scienza, ingegneria e alfabetizzazione possono lavorare efficacemente insieme per dar vita a invenzioni trasformative. Al team del progetto è stato chiesto di delineare un curriculum di informatica elementare; un professore di informatica e uno di italiano hanno inoltre svolto il ruolo di consulenti del progetto. La sperimentazione si compone di tre fasi: “*Using a Diorama to Stage a Play*”, “*Translating the Play into a Digital Story*” e “*Developing an Animatronic Diorama*”. Nella prima gli studenti, divisi in piccoli gruppi di due o quattro partecipanti, sviluppano uno *storyboard*. Nel gruppo-campione analizzato dagli autori, un alunno assume il ruolo di produttore e l'altro quello di autore e *playwright*. Quest'ultimo, dopo aver sviluppato lo *storyboard*, scrive un dialogo per ogni scena della storia. Viene quindi progettato un diorama fisico e i personaggi disegnati vengono costruiti dall'alunno produttore. I due studenti scelgono di creare un diorama con una fessura nella parte inferiore e fissano i personaggi su bastoncini di ghiaccioli; sviluppano poi l'allestimento specifico per ogni scena, un processo noto in teatro come *blocking*. A seguire, *storyboard*, dialoghi e diagrammi di *blocking* vengono combinati per creare una sceneggiatura. Gli studenti iniziano le prove, recitando le linee di dialogo mentre spostano fisicamente i personaggi sul palco per creare i loro diorami teatrali di burattini. La prima tappa si conclude con la presentazione ai compagni di classe. Gli spettacoli vengono pubblicati anche su *YouTube* e pubblicizzati attraverso vari social media (*Twitter*, *Facebook*, ecc.). La seconda fase è volta alla creazione di un *digital storytelling*, che consiste in una serie di immagini abbinata a una colonna sonora di narrazione (Lambert, 2002). I due studenti utilizzano quindi il software *Scratch* per tradurre il loro gioco in una storia digitale, aiutandosi con le tabelle di dialogo e le coordinate di scena del gioco fisico. L'alunno produttore si serve del programma *Audacity* per registrare il dialogo, che carica poi su *Scratch*, sostituendo la versione testuale. Il diorama fisico e la storia digitale fungono da base e premessa per la terza fase, la costruzione di un diorama animatronico; in quest'ultimo, computer e attuatori elettromeccanici vengono utilizzati per controllare il movimento dei

personaggi nel diorama. I due studenti sperimentano l'uso di *Scratch* per controllare un motore LEGO e animare i burattini.

Anche Robbins e Smith (2016) [5] suggeriscono un modello a tre livelli di complessità consequenziali. Il livello principiante consiste nella creazione di *DIY BrushBots*, conosciuti anche come *Bristlebots* o *DrawingBots* (letteralmente 'robot spazzola', 'robot setola' o 'robot da disegno'). Provvisi di batterie per orologi, motori a micro-vibratura, spazzolini da denti, bicchieri di plastica usa e getta e nastro adesivo, gli studenti esplorano i concetti di base dell'elettricità (*power, input, output*) e dell'arte cinetica. Ad esempio, essi possono creare degli interruttori che permettono di accendere e spegnere il robot per risparmiare la carica della batteria. Pur essendo predisposti gli stessi materiali e le stesse istruzioni, il progetto favorisce l'emergere dell'immaginazione degli alunni, grazie alle numerose configurazioni possibili dei robot. Il livello intermedio, intitolato "*Hacking Existing Robotics Kits and Wondering 'What If?'*", prevede la costruzione di un semplice robot con materiali comuni. A partire dai robot appena realizzati o da oggetti intorno a loro, gli alunni discutono sul loro potenziale intrinseco per una re-ingegnerizzazione inventiva, ponendosi domande *what-if-o* quesiti più aperti ("*Come possiamo cambiare/modificare questo robot per fargli fare qualcos'altro (ad esempio dipingere, coreografare una danza mentre disegna sulla carta, ecc.)?*") Gli studenti possono dunque sperimentare utilizzi del robot differenti e non previsti originariamente, per arrivare persino alla combinazione di configurazioni multiple di *BrushBots*. Con una comprensione dei fondamenti dell'elettronica semplice e la capacità di considerare varie strategie di progettazione, gli studenti sono pronti ad affrontare l'ultimo livello. Il livello avanzato, dal titolo "*Encouraging Students to Think, Make, and Improve*", mira a introdurre gli alunni ai processi, ai materiali e al coding necessari per costruire un robot funzionale. A tal proposito, gli studiosi riprendono il percorso progettuale *Think-Make-Improve* descritto nel libro "*Invent to Learn*" (Martinez & Stager, 2013), pensato per guidare gli educatori nella realizzazione di progetti *problem-based*. La fase *Think* è la più importante, poiché è in questa fase che l'istruttore e/o gli studenti definiscono scopo, ambito, materiali e restrizioni del progetto. È consigliabile iniziare con una presentazione di 5 minuti preparata dall'insegnante sui robot artistici, seguita da una discussione guidata con gli studenti sull'argomento e sui loro interessi, al fine di identificare ciò che già conoscono sul design e sulla robotica. Gli insegnanti potrebbero poi introdurre il materiale didattico aggiuntivo in un'altra breve presentazione, seguita da una serie di attività di esplorazione facilitata. A seguire, gli studenti possono provare ad assemblare autonomamente alcuni circuiti, servendosi, se necessario, di schemi elettrici predisposti e di linee

guida. Infine, i diversi circuiti realizzati possono essere combinati in un piccolo sistema robotizzato, creando ad esempio un robot in grado di muoversi e di far lampeggiare un LED. La fase *Make* consiste nella progettazione e nella costruzione di una creazione artistica. Gli studenti sono quindi incoraggiati a montare, smontare, riorganizzare, remixare, condividere, testare ed esplorare una varietà di materiali e tecniche. Questa fase potrebbe richiedere giorni o settimane a seconda del livello di complessità. In ultimo, nella fase *Improve*, gli alunni hanno la possibilità di “criticare” i loro art-robot (“*Il robot si comporta come previsto? Potrebbe essere migliorato? Qual era il mio intento artistico?*”), al fine di individuare i possibili miglioramenti, ponendosi reciprocamente delle domande e risolvendo costruttivamente i problemi. Si possono infine organizzare delle mostre per consentire agli studenti di esporre le loro creazioni.

Vongkulluksn e colleghi (2018) [2] propongono, infine, uno studio volto a esplorare i processi motivazionali che si attivano durante un programma maker *design-based* condotto in una scuola primaria. Gli studenti partecipanti hanno frequentato il corso di design makerspace come parte della loro esperienza scolastica curricolare. Tale corso, di durata semestrale, è stato strutturato sulla base dell’apprendimento *design-based*, richiedendo agli studenti di identificare un problema del mondo reale e di progettare un prodotto o un prototipo per affrontarlo, utilizzando i concetti STEM. Gli studenti hanno partecipato a sessioni preparatorie per identificare i progetti su cui avrebbero voluto lavorare e, attraverso lo scaffolding degli insegnanti, hanno formulato una domanda di indagine basata su un’esigenza del mondo reale. È importante sottolineare che, nella scelta del progetto, gli alunni non sono stati limitati dagli strumenti già presenti a scuola; essi potevano infatti richiedere ulteriori acquisti, entro certi limiti, per eventuali materiali mancanti. Sono state organizzate due classi makerspace in base al livello (livello inferiore: grado 3 e 4; livello superiore: grado 5 e 6), in cui gli alunni hanno potuto lavorare da soli o in gruppi di due. Insegnanti e mentori li hanno guidati attraverso il processo iterativo di creazione e valutazione dei loro prodotti. Tra i progetti riportati dagli autori troviamo quello di un alunno di grado 4 finalizzato alla realizzazione di un film per pazienti ricoverati in ospedale. Lo studente decide di scrivere la sceneggiatura di un divertente cortometraggio e di reclutare altri studenti per recitare le scene, servendosi poi di un software per aggiungere effetti di animazione e modificare il film. Un altro alunno di grado 6 sceglie invece di imparare a modellare/stampare in 3D per aiutare i bambini senza arti superiori a svolgere le attività quotidiane, senza dover sostituire le protesi ogni cinque anni a causa della crescita fisica. Per realizzare un braccio protesico regolabile, l’alunno abbozza un disegno della protesi, per poi decostruirlo in diverse parti da

stampare con una stampante 3D. Trasferisce quindi i suoi disegni in un programma CAD e assembla un modello di braccio protesico che può essere regolato attorno al gomito per ridimensionarsi automaticamente man mano che l'utente invecchia. Sempre nella classe di livello superiore, un'alunna si dedica alla realizzazione di cuffie per la realtà virtuale per i bambini ricoverati in ospedale, mentre una coppia di alunni vuole progettare un orologio economico che funga anche da cardiofrequenzimetro personale. Nella classe di livello inferiore, infine, due alunni si impegnano nell'affrontare il problema della siccità, mediante la creazione di un meccanismo per il filtraggio dell'acqua sporca.

## 3.2 Ricadute e sfide

Gli studi sopra presentati si focalizzano su aree di interesse diverse. La riflessione sulle ricadute e sulle sfide si baserà quindi, principalmente, sull'analisi dei risultati in merito a tali aspetti. In particolare, i contributi indagano gli effetti del *Maker approach* sulla motivazione, l'interesse e il coinvolgimento degli studenti [2, 4, 5, 7], sulla loro *agency* e *self-efficacy* [1, 2, 3, 8], nonché sullo sviluppo di conoscenze scientifiche e delle competenze del XXI secolo [3, 7]. Alcuni studi esplorano inoltre i benefici derivanti dalla combinazione di making e attività di scrittura [4], arte [5] e storytelling [6].

### 3.2.1 Motivazione, agency, self-efficacy, competenze del XXI secolo [3, 7, 1, 8, 2]

Il caso di studio esplorativo di Blackley e colleghi (2018) [3] vuole indagare l'efficacia dell'approccio Maker nel sostenere l'impegno e la fiducia in se stessi nell'educazione STEM, oltre allo sviluppo di conoscenze scientifiche e delle competenze del XXI secolo. Dai dati relativi al sondaggio è emerso che gli alunni hanno ritenuto il progetto un'esperienza di apprendimento positiva, si sono sentiti coinvolti e hanno sviluppato fiducia nell'esprimere le proprie idee, utilizzando le loro conoscenze scientifiche. Secondo gli autori, l'attività ha permesso di sviluppare l'iniziativa di porre domande e di sperimentare un modo diverso di apprendere le scienze, in contrasto con l'abituale tendenza a seguire le istruzioni dell'insegnante e a lavorare individualmente per completare i compiti. Scoprire la rilevanza per la vita quotidiana di alcuni concetti scientifici, come quello di circuito elettrico, trasferimento di energia o centro di gravità, ha aiutato gli alunni a comprendere tali concetti. Gli studenti hanno appreso non attraverso la



memorizzazione dei fatti, ma tramite la sperimentazione *hands-on* e la collaborazione; hanno applicato le loro conoscenze per trovare strategie di risoluzione dei problemi di funzionamento dei Bots, sperimentando vari gradi di successo e di fallimento e imparando l'uno dall'altro. Riflettendo su come hanno lavorato, alcuni studenti affermano infatti che il lavoro di gruppo e la collaborazione hanno consentito di ottenere migliori risultati. Il progetto ha stimolato lo sviluppo delle conoscenze scientifiche attraverso un processo di indagine, ponendo domande, spiegando idee e applicando la conoscenza. Sebbene il *Wiggle Bot* abbia una forte componente scientifica, gli studenti sono stati coinvolti anche in un processo di progettazione basato sulla tecnologia, in un approccio di problem-solving ingegneristico (ad esempio come accendere e spegnere il Bot senza interruttore) e nella matematica dei triangoli equilateri e delle rotazioni. Gli alunni hanno infine avuto modo di affinare le competenze del XXI secolo; oltre alla già citata collaborazione, l'assemblaggio di un *Wiggle Bot* stabile, operativo e robusto ha infatti stimolato la loro curiosità e, in qualche misura, il loro pensiero critico e creativo. Gli alunni hanno costruito un Bot funzionante entro la fine della sessione di 90 minuti e si sono dichiarati soddisfatti di aver sperimentato un approccio diverso all'educazione STEM, sentendosi sicuri di poter realizzare altri artefatti maker.

Simili sono i piani di indagine su cui si concentrano Marsh e colleghi (2019) [7]. Gli studiosi esaminano il valore dei makerspace in relazione a tre aree di influenza interconnesse: personale, relazionale e istituzionale. A livello personale, i makerspace hanno fornito ai bambini molte opportunità per esprimere i loro interessi e sviluppare competenze e conoscenze attraverso l'esplorazione e il coinvolgimento. A livello relazionale, dalle interviste è emersa la propensione degli alunni a sostenere l'apprendimento dei coetanei attraverso la condivisione delle loro conoscenze sul *digital making*. Ad esempio, i bambini che avevano già sperimentato la realtà virtuale a casa, erano disposti ad aiutare i compagni con l'attrezzatura, mostrando loro come indossare le cuffie o utilizzare i comandi manuali. Gli autori sottolineano quindi la necessità di identificare e sfruttare le competenze digitali e le conoscenze con cui i bambini arrivano a scuola, al fine di coinvolgerli e motivarli all'apprendimento. Tuttavia, numerosi studi indicano che molti insegnanti non considerano questa una priorità e fanno fatica a identificare e a costruire a partire dagli interessi dei bambini (Wood *et al.*, 2019). I makerspace forniscono un'opportunità per costruire sulla base dei fondamenti di conoscenza degli alunni, oltre che per stimolare la condivisione di tale conoscenza, sviluppando comunità digitali di pratica e costruendo competenze relazionali (Edwards, 2005). Infine, a livello istituzionale, questi spazi possono rivelarsi un mezzo per introdurre approcci

post-digitali nelle pratiche culturali consolidate. Giocando con i materiali i bambini si sono mossi attraverso domini digitali e non digitali e attraverso domini online e offline; questo processo di riprogettazione transmodale (Mavers, 2011) è stato un elemento essenziale del progetto.

Kajamaa e Kumpulainen (2019) [1], attraverso un approccio induttivo ai dati, selezionano alcuni eventi da esaminare in maniera più approfondita. Analizzando le tre sfide FUSE scelte dal gruppo di alunne, gli autori individuano dei topics di discussione e delle azioni che hanno contribuito alla nascita di un'*agency* trasformativa delle studentesse, focus di interesse dello studio. In particolare, vengono evidenziate tre direzioni dell'agire trasformativo, correlate in modo iterativo: *deviating*, *switching* e *transfiguring*. L'analisi della prima sessione "*The Solar Roller*" illustra come l'emergere dell'*agency* trasformativa sia un processo innescato da molteplici tensioni, che derivano dall'interazione socialmente e materialmente mediata. Gli autori considerano tali tensioni cruciali, in quanto capaci di "scatenare" discorsi e azioni degli studenti volti a "deviare" dalle istruzioni fornite dall'insegnante o dal sito web FUSE, per realizzare la sfida in modo creativo e indipendente, più significativo per loro. Tuttavia, nell'episodio in esame, il gruppo fa ancora grande affidamento sull'insegnante e ciò spiegherebbe, secondo gli autori, il ridotto grado di trasformazione dell'agire. Le successive sessioni mostrano un ulteriore sviluppo dell'*agency*, favorito da una maggiore autonomia delle studentesse. Lo *switching* si riferisce infatti alle iniziative creative delle alunne volte a superare le tensioni e i sentimenti di frustrazione e di insoddisfazione, come la sperimentazione di nuovi ruoli all'interno del gruppo, al fine di progredire nella sfida, adattando il compito ai bisogni del gruppo. Nella seconda sessione, "*The Electric Apparel*", si evidenzia il passaggio da azioni individuali a sforzi congiunti, promossi dalla motivazione e dall'entusiasmo collettivo, e quindi da un'attività guidata dall'insegnante (risorsa principale durante la prima sessione) a un'attività guidata dalle alunne stesse. L'ultima sessione analizzata "*The Jewelry Designer*" è caratterizzata da un'atmosfera molto più positiva rispetto al primo e al secondo esempio; i sentimenti di frustrazione e di delusione espressi in precedenza sono infatti diminuiti nel tempo, grazie allo sviluppo delle competenze relative alle sfide. La sfida scelta, frutto di una lunga e attenta negoziazione, è risultata fin da subito motivante e avvincente per le alunne, spingendole a co-progettare e creare qualcosa di nuovo e di unico. Nonostante il processo non sia risultato totalmente privo di tensioni, nel complesso il gruppo ha condotto l'attività in modo indipendente e interattivo, condividendo attivamente la conoscenza e guidandosi a vicenda. Tutti i membri del gruppo si sono impegnati nella ri-progettazione creativa della sfida, realizzando vari progetti in un periodo di tempo piuttosto breve. La

trasfigurazione dell'attività, parziale o radicale, in vista di un oggetto condiviso, ha contribuito ad aumentarne l'interesse ed è avvenuta legittimando e sostenendo le nuove soluzioni e i nuovi ruoli. Gli studiosi ritengono l'*agency* trasformativa una forma unica di *agency* collettiva, in quanto consente di sviluppare non solo un orientamento condiviso, ma anche creatività (Kajamaa *et al.*, 2018), immaginazione e indipendenza, permettendo idealmente a tutti gli studenti di emergere nel processo di design e making. Dato il tempo relativamente breve che il gruppo ha trascorso nello studio, gli autori considerano questi cambiamenti evolutivi piuttosto sorprendenti. Essendo la prima esperienza in uno studio FUSE, le alunne cercavano inizialmente il "copione" per le attività da svolgere. Ciò risulta però difficile in un ambiente maker, dove l'apprendimento non è organizzato in modo sequenziale dall'insegnante, da un libro di testo o da uno script pre-programmato; al contrario, gli studenti devono esplorare ed integrare conoscenze provenienti da risorse e domini diversi. Una forte tensione, presente nel corso dell'intero semestre, è emersa infatti tra gli obiettivi promotori dello studio FUSE, inteso come un makerspace guidato dall'interesse, e le istruzioni date dagli insegnanti, derivanti dai modelli di attività scolastica esistenti (Kumpulainen *et al.*, 2018). Lo studio sottolinea quindi la necessità di nuove soluzioni pedagogiche, fondate sugli interessi degli studenti e in grado di fornire loro nuove opportunità per reagire e contribuire alla trasformazione delle attività scolastiche guidate dagli insegnanti.

Anche Iivari e colleghi (2018) [8], analizzando le modalità con cui i bambini si avvicinano per la prima volta al design e al making nel contesto scolastico, individuano diverse direzioni dell'*agency*. Nello studio in oggetto, gli autori si sono serviti delle interviste per esaminare il modo in cui i bambini si riferivano alle attività svolte, arrivando a identificare sei posizioni adottate dagli studenti nel corso delle varie sessioni del progetto (*Designer, Pupil, Clown, Inventor, Leader, Builder*), nonché quattro tipi di approccio al design e al making (*Tool View, Invention View, Social and Political View, Agency View*). Alcuni bambini hanno sostenuto posizioni e approcci diversi durante lo stesso colloquio. Molto diffusa è la posizione del *Builder*; la maggior parte degli alunni ha infatti menzionato e gradito specialmente la fase del progetto relativa alla costruzione. Più raro è invece il ruolo dell'*Inventor*, attribuito agli alunni ideatori che hanno citato l'importanza dell'immaginazione e dell'invenzione come qualcosa di significativo appreso durante il percorso. Alcuni bambini hanno poi identificato se stessi o qualche altro membro del gruppo come *Designer* e/o hanno indicato il design come la loro attività preferita nel progetto. I *Clowns* corrispondono invece agli alunni che hanno enfatizzato il divertimento,

piuttosto che il lavoro svolto. In varie situazioni si è distinta poi la figura del *Leader*, mentre una minoranza di alunni si è identificata semplicemente come alunno (*Pupils*), senza assumere alcun ruolo specifico e limitandosi a fare ciò che gli veniva chiesto. Per quanto concerne le visioni espresse dagli studenti in relazione al progetto, la prima si focalizza su strumenti e attrezzature, la seconda enfatizza l'immaginazione, l'invenzione e la creatività nella descrizione del progetto e dei suoi risultati, la terza evidenzia la negoziazione costante, i conflitti e i disaccordi che hanno caratterizzato il lavoro, mentre l'ultima fa riferimento all'*empowerment* e all'*agency* degli alunni e quindi al loro apprendimento o interesse per il design e il making. Anche se le posizioni e gli approcci suggeriscono lo sviluppo di una relazione con il design e il making, gli autori ritengono che nessuno dei bambini abbia sviluppato a pieno un'identità di *Maker* e *Designer* durante il progetto, in quanto essa necessita di un elevato livello di autoefficacia, motivazione e interesse. Sarebbe stato dunque piuttosto irrealistico aspettarsi un simile esito, considerando i tempi e le attività coinvolte, sebbene i risultati evidenzino la nascita di preziosi semi di sviluppo. Proprio sulla base di tali risultati, gli studiosi rilevano interessanti implicazioni per la comunità di ricerca CCI. La prima riguarda le interpretazioni dei bambini; questi ultimi interpretano e realizzano la progettazione e le attività in modo personale, influenzati da esperienze precedenti, preferenze e relazioni con gli altri partecipanti. Potrebbe essere utile allora preparare l'alunno all'emergere di posizioni diverse, e quindi ad apprezzarle e esaminarle in profondità, magari discutendone apertamente prima dell'inizio del progetto. La seconda considerazione riguarda la relazione tra l'identità di *Designer* e *Maker* e la partecipazione autentica. Quest'ultima richiede che gli alunni si percepiscano come membri competenti nel design e nel making e ciò si allinea bene alle esigenze identitarie di autoefficacia, motivazione e interesse. Il passaggio al ruolo e all'identità di *Maker* o di *Designer* non è sicuramente semplice nel contesto educativo (Chu *et al.*, 2017). A tal fine, gli autori sostengono sia fondamentale integrare i percorsi making nella didattica quotidiana e nel curriculum esistente, indipendentemente dalle loro dimensioni. L'esperienza riportata è dunque utile a fornire un supporto a coloro che progettano e incontrano per la prima volta attività di design e making, a fronte della scarsità di ricerche inerenti all'introduzione di simili attività nell'educazione dei bambini. Le scuole possono presentare varie limitazioni, come il setting, le risorse disponibili e la scarsa autonomia di scelta e di partecipazione concessa agli studenti; inoltre, le esperienze precedenti dei partecipanti e le competenze necessarie per le attività di making potrebbero essere molto limitate, rallentando i processi di apprendimento (Somanath, 2017).

Lo studio di Vongkulluksn e colleghi (2018) [2] indaga sull'incremento della motivazione degli studenti verso le STEM, attraverso programmi maker *design-based*. Gli autori, in particolare, ritengono si sappia poco sulle implicazioni motivazionali di tali programmi nella scuola primaria, in quanto essi sono stati implementati prevalentemente in gradi di istruzione superiore. Gli autori esaminano quindi la relazione tra autoefficacia, emozioni positive e negative e sviluppo dell'interesse degli studenti per il corso. Come previsto, i punteggi di autoefficacia sono risultati correlati positivamente con quelli delle emozioni positive e viceversa; allo stesso modo, anche l'interesse situazionale è risultato significativamente correlato con l'eccitazione, la curiosità e la frustrazione. L'autoefficacia degli studenti è diminuita notevolmente tra l'inizio e la metà del semestre, ma non è cambiata in modo rilevante tra la metà e la fine del semestre. Nella prima parte del semestre, infatti, tutti gli studenti hanno espresso un elevato senso di autoefficacia per aver completato con successo le loro progettazioni. Tuttavia, durante i colloqui di metà semestre, molti di loro hanno rivalutato quanto progettato a causa dei limiti di tempo e di capacità, mostrando un livello di autoefficacia inferiore rispetto all'inizio del semestre. I dati delle interviste "Think-aloud" evidenziano differenze nel modo in cui gli studenti hanno descritto i loro progressi a metà semestre. Gli alunni più giovani hanno dato in generale valutazioni più positive e si sono concentrati maggiormente su ciò che doveva ancora essere fatto e su come hanno modificato i loro progetti per adattarli ai tempi. Al contrario, gli studenti della classe superiore hanno espresso maggiore frustrazione per ciò che non sono riusciti a realizzare nel tempo assegnato. La delusione potrebbe essere scaturita dalla tendenza degli alunni più grandi a scegliere progetti più complessi, che richiedono maggior tempo, influenzando le loro prospettive negative sui progressi e, di conseguenza, la diminuzione dell'autoefficacia e dell'interesse a metà semestre. L'interesse iniziale scatenato dalla situazione, non si traduce quindi necessariamente in un interesse mantenuto; come suggeriscono i dati qualitativi, infatti, lo sviluppo dell'interesse non è tanto legato all'età in sé, quanto alla complessità del progetto e ai gradi di successo sperimentati. Inoltre, gli autori evidenziano come una scarsa conoscenza di base nelle STEM sia in genere predittiva di un basso senso di autoefficacia nell'apprendimento e nell'uso dei concetti STEM, oltre che di sentimenti di frustrazione e di una minor fiducia nell'esecuzione dei compiti di progettazione. La successiva permanenza di un livello di interesse situazionale e di autoefficacia moderatamente alto risulterebbe dovuta all'aumento dell'autonomia degli studenti e alla maggiore consapevolezza nei confronti dell'apprendimento, come dimostrato da diversi studi (Doppelt, 2009; Gerber *et al.*, 2012). In generale, gli studenti hanno avuto reazioni emotive più positive che negative

nei confronti delle attività. In sintesi, lo studio sottolinea la necessità di interventi mirati per garantire che i makerspace *design-based* costituiscano un'esperienza positiva e motivante per gli studenti. Gli educatori dovrebbero quindi fornire, soprattutto nelle fasi iniziali, una regolazione emotiva e uno scaffolding all'autoefficacia adattiva e allo sviluppo di interesse tramite strategie didattiche sensibili al contesto.

### 3.2.2 Scrittura, arte e storytelling [4; 5; 6]

Baroutsis e Towers (2017) [4] mettono in luce una serie di risultati positivi associati alla combinazione di making e scrittura. Gli alunni sono risultati più propensi a sperimentare la scrittura, oltre che maggiormente ispirati e motivati a scrivere. Tutti i bambini hanno completato l'attività di scrittura, nonostante alcuni fossero scrittori esitanti, non sempre disposti a partecipare. Gli alunni si sono divertiti e impegnati, dimostrando un alto grado di responsabilità; ciò può essere dovuto alle opportunità di scelta e di autodirezione concesse, oltre che alla natura ludica del compito. Molti di essi hanno poi dimostrato di essere orgogliosi di quanto scritto, al punto da voler condividere le loro storie con compagni e adulti. I makerspace hanno coinvolto gli alunni nel realizzare qualcosa a partire da un'idea, utilizzando i materiali disponibili. L'apprendimento è risultato così «*embedded in the experience of making*» (Sheridan *et al.*, 2014, p. 528) e i makerspace si sono rivelati degli spazi inclusivi (Wohlwend, 2008), capaci di coinvolgere tutti gli studenti nelle fasi di creazione e scrittura, nonché i genitori nel processo di alfabetizzazione dei figli. Le attività maker hanno fornito opportunità di gioco, scrittura individuale, collaborativa e multimodale, divenendo catalizzatori di apprendimento e dimostrando il loro potenziale sotteso nel promuovere esplorazione, collaborazione, creatività e problem-solving.

Robbins e Smith (2016) [5] riflettono invece sulla vantaggiosa relazione tra making e arte a scuola. L'introduzione ai nuovi media tramite un progetto di robotica artistica ha fornito agli alunni esperienze di design, costruzione, programmazione e iterazione. L'esperienza costituisce un esempio di come la robotica può essere introdotta a scuola per insegnare agli studenti le varie forme dell'arte, tra cui quella cinetica, interattiva, non rappresentativa e performativa pubblica. A tal fine, gli insegnanti dovrebbero relazionarsi ai nuovi materiali, strumenti e processi nello stesso modo in cui pensano l'argilla o i pennelli, e quindi in un'ottica di integrazione, anziché di sostituzione o svalutazione. Gli insegnanti d'arte sono già molto vicini all'implementare makerspace nelle loro classi. L'inclusione della robotica di base e del *tinkering* contribuisce a far sì che l'insegnamento dell'arte continui

ad abbracciare i nuovi media e a far leva sul crescente interesse degli studenti per le tecnologie interattive, compresi computer, videogiochi e veicoli telecomandati. L'intento non è quello di rendere l'aula di arte una rivale del laboratorio di informatica, ma piuttosto di "potenziare" studenti e insegnanti creativi con strumenti utili ad andare oltre le proprie aspettative, al fine di ispirare gli artisti dei nuovi media del futuro.

Infine, l'indagine preliminare di Bull e colleghi (2017) [6] si concentra principalmente sulla fattibilità tecnica e sulle ricadute dell'implementazione di un'attività di *Storymaking* in una scuola primaria. Nonostante il numero ridotto dei partecipanti non consenta di trarre conclusioni generalizzabili in altri contesti, i risultati risultano sufficientemente promettenti. Il progetto ha infatti permesso agli alunni di sviluppare capacità collaborative e comunicative, servendosi delle nuove tecnologie come mezzo di espressione personale. Nel corso del progetto, gli studenti hanno poi appreso una serie di concetti chiave che spaziano tra informatica, ingegneria ed alfabetizzazione. L'allineamento tra gli obiettivi del progetto e quelli linguistici e di alfabetizzazione avrebbe, secondo gli autori, aumentato l'utilità dell'attività di making proposta. L'integrazione prevista tra i curricula di informatica e italiano ha inoltre consentito di sfruttare le naturali corrispondenze tra lo sviluppo di un'opera teatrale sotto forma di gioco e quello di una sceneggiatura al computer. Gli studenti hanno ritenuto l'attività coinvolgente e in grado di favorire creatività ed espressione; molti di loro si sono offerti volontari per continuare a lavorare ai progetti durante il tempo libero o durante le vacanze estive. Gli alunni erano consapevoli di sperimentare un'attività nuova e ciò può avere influito sul loro interesse ed entusiasmo, rendendo necessarie repliche dello studio.

### 3.3 Considerazioni finali

L'analisi delle ricadute pone in luce una serie di vantaggi educativi e di sfide connesse all'implementazione dell'approccio Maker nella scuola primaria. Gli studi sottolineano la necessità di nuove soluzioni pedagogiche fondate sugli interessi degli studenti e in grado di fornire loro nuove modalità di apprendimento. I makerspace possono risultare efficaci nel mettere in discussione le pratiche educative radicate, offrendo ambienti di apprendimento esperienziali in cui sperimentare nuovi strumenti e tecnologie e sviluppare le competenze del XXI secolo, tra cui spiccano il pensiero critico e creativo e la collaborazione. Il making è ritenuto profondamente accessibile e inclusivo per la sua natura orientata agli interessi, che consente agli studenti di sviluppare e perseguire i propri percorsi per realizzare le proprie idee. In

quanto tale, dunque, si configura come strategia per ampliare la partecipazione all'apprendimento, in particolare delle discipline STEM (Buchholz *et al.*, 2014; Gilbert, 2017), rendendo più accessibile la conoscenza scientifica (Martin, 2015). Gran parte dei contributi analizzano poi il potenziale dell'approccio in relazione alla motivazione, all'interesse e all'*agency* degli alunni. I risultati evidenziano come tali aspetti siano strettamente connessi tra loro e al contempo legati a ulteriori variabili, come la complessità del compito scelto, la posizione e la visione assunta dallo studente in relazione all'attività, nonché il suo bagaglio conoscitivo ed esperienziale. Una componente importante dell'approccio è l'autonomia concessa agli studenti nella scelta del progetto, nel determinare le conoscenze necessarie e nello stabilire un piano di lavoro che permetta di completare il progetto in tempo utile (Doppelt, 2009). Ciò influisce a sua volta nel senso di competenza degli studenti e nella decisione di partecipare a compiti simili in futuro.

L'approccio si rivela estremamente funzionale anche per le fasce educative minori, in quanto l'apprendimento deriva spesso dalla combinazione tra making e gioco, specialmente quando il prodotto è condiviso con gli altri (Dewey, 1938; Papert & Harel, 1991). La *Maker Education* combina infatti lo "spirito artigianale" con il "gioco sperimentale" (Honey & Kanter, 2013).

Affinché il movimento ottenga un'ampia accettazione nelle scuole pubbliche, è fondamentale che gli obiettivi di apprendimento degli studenti e i progressi verso tali obiettivi siano chiaramente visibili. Vi sono inoltre numerose questioni pratiche da affrontare. Il making richiede tempo e spazi organizzati e gli insegnanti si scontrano spesso con problemi logistici e di attuazione del programma. A questi si aggiunge la necessità di modificare le strategie pedagogiche per sostenere modalità di indagine più reciproche e meno gerarchiche (Bevan, 2017). Tra le principali sfide si evidenziano dunque la necessità di integrare le attività maker nel curriculum scolastico, le possibili limitazioni legate al setting scolastico, nonché la scarsa predisposizione degli insegnanti a considerare gli interessi degli studenti o a concedere loro un ampio margine di autonomia. Si ritengono opportuni studi futuri sulle differenze culturali, sugli effetti a lungo termine di tali esperienze e sulle relazioni specifiche tra emozioni e costrutti motivazionali.



## 4. Il Progetto di ricerca

### 4.1 Scopo e domande di ricerca

Nel panorama scolastico italiano, le esperienze di making e RE sono ancora prevalentemente legate a progetti extrascolastici o ad attività occasionali. Il recente aumento degli investimenti in attrezzature tecnologiche si scontra con la rigidità dei curricula e l'inadeguata formazione degli insegnanti in termini tecnici e metodologici (Gratani, Giannandrea, & Rossi, 2023).

Tali esigenze e basi teoriche ci hanno guidato nella messa a punto di un piano di sperimentazione che si snoda a partire da due domande di ricerca:

1. Come integrare la *Maker Education* nell'attività curricolare della scuola primaria e secondaria di primo grado?
2. Quale impatto su autoefficacia scolastica, *attitude* verso le STEM e abilità del XXI secolo degli studenti?

Il progetto, svoltosi dal gennaio del 2021 all'aprile del 2022, mirava a delineare una proposta di integrazione delle attività maker nella didattica curricolare di scuola primaria e secondaria di primo grado e a rilevarne l'impatto sulle variabili sopra citate. Nello specifico, il progetto si poneva l'intento di integrare la *Maker Education* nei curricula scolastici delle classi coinvolte attraverso sfide autentiche legate ai contenuti curricolari e incluse nel processo di valutazione, volte a promuovere le competenze degli studenti. Il piano sperimentale è stato progettato e in gran parte sviluppato durante il periodo di emergenza sanitaria e ciò ha influito notevolmente sulle modalità di pianificazione e conduzione dello stesso.

A seguito di una fase di progettazione e allineamento, la sperimentazione risulta suddivisa in due parti, contraddistinte dal termine dell'anno scolastico e dall'inizio di quello successivo. La Parte I si è svolta tra gennaio 2021 e giugno 2021, mentre la Parte II tra novembre 2021 e aprile 2022.

I seguenti sottoparagrafi forniscono un breve resoconto del progetto, a partire da contesto e partecipanti (par. 4.2) e metodologia e strumenti

valutativi adottati (par. 4.3), per poi sintetizzare attività svolte (par. 4.4) e risultati emersi (par. 4.5).

## 4.2 Contesto e partecipanti

Il progetto ha coinvolto un totale di 53 studenti e 5 insegnanti di un Istituto Comprensivo marchigiano<sup>55</sup>. Grazie ad un attento confronto con la dirigente scolastica, abbiamo individuato gli insegnanti idonei, per discipline insegnate, classe assegnata ed esperienza pregressa, e disposti a partecipare volontariamente. Ai fini della ricerca, risultava rilevante che i docenti fossero impegnati nell'ambito delle STEM, avessero una buona familiarità con le tecnologie e insegnassero in una classe quarta o quinta primaria. Tale range di età è stato infatti ritenuto il più propizio per introdurre le attività e le metodologie pensate e per seguire l'evoluzione degli alunni in un arco di tempo annuale, interessando anche la scuola secondaria di primo grado.

Le attività si sono svolte prevalentemente nelle rispettive aule e sono state condotte principalmente in gruppi di due studenti. Abbiamo tentato di mantenere l'approccio collaborativo nel rispetto delle misure di sicurezza. Lo spazio è stato organizzato in modo da garantire una distanza adeguata e a ogni coppia sono stati assegnati ruoli chiari, intercambiabili di volta in volta (ad esempio il progettista e il costruttore).

La prima parte del progetto ha coinvolto 50 studenti e 3 insegnanti di scuola primaria dell'Istituto. Prima di avviare le attività, abbiamo somministrato un questionario di ingresso tramite un *Google Form* per raccogliere alcune informazioni personali sugli studenti, come genere, Paese di nascita, età, classe e scuola frequentata, utili ad analizzare la composizione del campione (vedi Tab. 3). Gli studenti risultavano ben distribuiti in termini di genere (F: 54%; M: 46%) e di classe (quarta: 42%; quinta: 58%). Essi frequentavano inoltre tre scuole primarie allocate in tre comuni differenti, facenti parte dello stesso Istituto. In particolare, il 30% frequentava la classe quarta del comune di Caldarola (15 alunni-tempo pieno), il 42% la classe

<sup>55</sup> Il progetto ha interessato una zona circoscritta dell'entroterra della regione Marche, in Italia. Nello specifico, esso è frutto della collaborazione tra l'Università degli Studi di Macerata e l'Istituto Comprensivo "S. De Magistris" di Caldarola (MC). Il campione oggetto di studio non è stato selezionato tramite specifiche procedure di campionamento. La selezione degli insegnanti è avvenuta in base ai seguenti criteri: discipline insegnate, classe assegnata, esperienza pregressa in ambito STEM, familiarità con le tecnologie, disponibilità a partecipare volontariamente. Il range di età scelto per gli studenti (quarta e quinta primaria) è stato ritenuto il più propizio per introdurre le attività e le metodologie pensate e per seguire l'evoluzione del progetto in un arco di tempo annuale, interessando anche la scuola secondaria di primo grado.

quinta del comune di Belforte del Chienti (21 alunni-tempo modulare) e il 28% la pluriclasse quarta-quinta nel comune di Camporotondo di Fiastrone (14 alunni-tempo modulare). Si evidenzia inoltre un 10% di alunni di seconda generazione, nati in Italia ma con genitori stranieri, e un 6% di alunni di prima generazione.

Tab. 3 – Sintesi delle informazioni personali degli studenti (pre-Parte I).

	<i>Index</i>	<i>Valore (%)</i>
Sesso	F	54
	M	46
Paese di nascita	Italia	94
	India	2
	Perù	2
	Cuba	2
Età	9 anni	36
	10 anni	58
	11 anni	6
Classe	Quarta primaria	42
	Quinta primaria	58

I 3 insegnanti curricolari (uno per classe) insegnavano materie simili e inerenti all'ambito STEM:

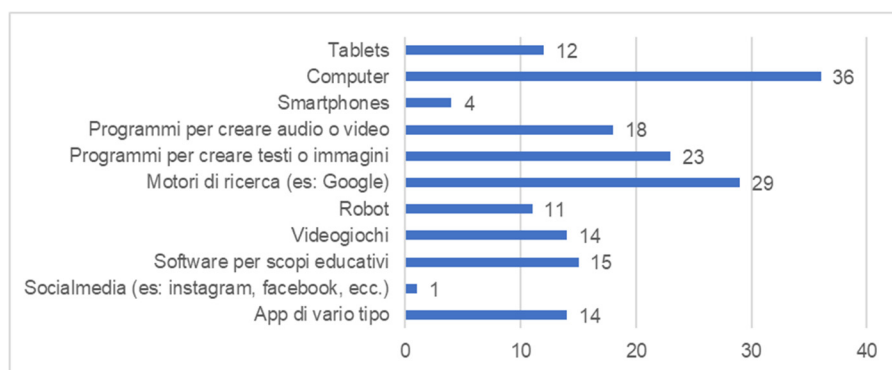
- insegnante 1 (I1) - classe quarta: matematica, scienze, inglese, musica, educazione fisica;
- insegnante 2 (I2) - classe quinta: matematica, scienze, inglese, educazione fisica;
- insegnante 3 (I3) - pluriclasse quarta-quinta: matematica, scienze, musica, tecnologia.

Tramite il questionario iniziale abbiamo voluto indagare anche aspetti legati alla conoscenza e all'utilizzo degli strumenti tecnologici, al fine di verificare il punto di partenza degli studenti e calibrare efficacemente le fasi successive. Il 98% degli studenti ha dichiarato di conoscere i mattoncini della LEGO e di aver costruito qualcosa con essi; tuttavia, il 60% degli studenti ha poi dichiarato di non aver mai programmato un oggetto costruito tramite kit LEGO. Similmente, il 66% degli studenti ha affermato di sapere cos'è una stampante 3D, ma l'88% di non averla mai utilizzata.

Abbiamo inoltre indagato l'utilizzo delle tecnologie a scuola attraverso un quesito a risposta multipla in cui poter selezionare una o più voci. Come si

evince dal Graf. 1, prevale ancora l'uso di strumenti tecnologici tradizionali: computer (72%), motori di ricerca come *Google* (58%), programmi per creare testi o immagini (46%).

Infine, abbiamo domandato agli studenti quanto ritenessero utile inventare e/o costruire qualcosa per comprendere meglio gli argomenti studiati, scegliendo tra cinque opzioni: “per nulla utile”, “poco utile”, “mediamente utile”, “molto utile” e “del tutto utile”. Dalle risposte fornite notiamo che quasi tutti gli studenti (92%) riconoscono il potenziale della costruzione di artefatti per supportare l'apprendimento (risposte comprese tra “mediamente utile” e “del tutto utile”). Nessun alunno ne dichiara l'inutilità.



Graf. 1 – Tecnologie utilizzate a scuola (pre-Parte I).

Il progetto ha accompagnato gli studenti fino all'anno scolastico successivo, che per la maggior parte di essi (58%) ha segnato il passaggio alla scuola secondaria di primo grado. Nel passaggio da Parte I a Parte II, la composizione delle classi si è dunque modificata. La Parte II ha coinvolto quattro classi per un totale di 53 alunni e 4 insegnanti. Nello specifico, gli alunni di quinta di Belforte del Chienti e di Camporotondo di Fiastrone sono confluiti in due sezioni di classe prima della scuola secondaria di primo grado di Belforte (14 e 16 alunni-tempo modulare). A queste si aggiungono le due classi quinte: l'ex quarta di Caldarola (16 alunni-tempo pieno) e l'ex pluriclasse quarta-quinta di Camporotondo (7 alunni-tempo modulare), divenuta ormai una classe tradizionale composta dai rimanenti alunni. Il progetto ha continuato a coinvolgere tutti i 50 alunni della Parte I, con l'aggiunta di 3 alunni inseritisi uno per ogni plesso. Si evidenzia inoltre un 11,32% di alunni di seconda generazione, nati in Italia ma con genitori stranieri, e un 7,6% di alunni di prima generazione.

Infine, per quanto concerne i docenti, ai rimanenti II e I3 della scuola primaria si sono aggiunti due insegnanti della scuola secondaria di primo grado, entrambi assegnati alle due sezioni di classe prima: l'insegnante 4 (I4) di tecnologia e l'insegnante 5 (I5) di scienze e educazione civica.

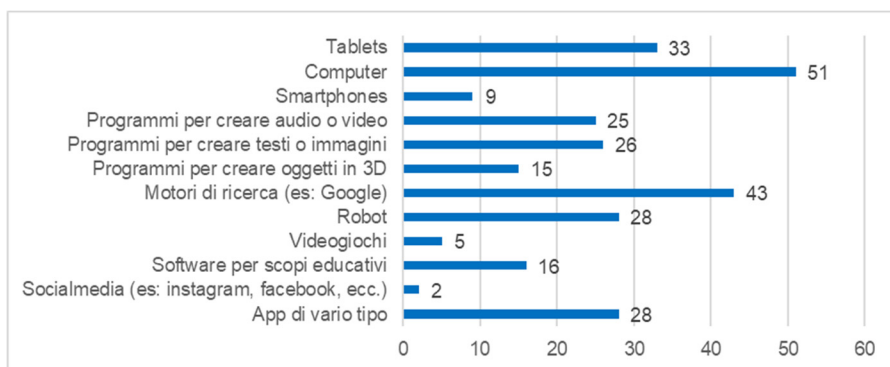
Per la seconda parte abbiamo nuovamente previsto un questionario di ingresso tramite *Google Form*, da cui possiamo trarre i dati personali degli studenti aggiornati (vedi Tab. 4) e la nuova versione del grafico mostrato per la Parte I (vedi Graf. 2). Per quanto concerne i dati personali, l'esiguo numero dei nuovi inseriti e l'equa distribuzione degli stessi non ha compromesso l'equilibrio del campione in termine di genere (F: 52,8%; M: 47,2%) e classe frequentata (quinta primaria: 43,4%; prima secondaria: 56,6%).

Tab. 4 – Sintesi delle informazioni personali degli studenti (pre-Parte II).

	Index	Valore (%)
Sesso	F	52,8
	M	47,2
Paese di nascita	Italia	92,4
	India	1,9
	Perù	1,9
	Cuba	1,9
	Macedonia	1,9
Età	10 anni	41,5
	11 anni	52,8
	12 anni	5,7
Classe	Quinta primaria	43,4
	Prima secondaria	56,6

Il Graf. 2 consente di rilevare un primo impatto sull'utilizzo delle tecnologie a scuola. Emerge infatti un generale incremento di quasi tutti i campi indagati, ma si evidenzia, in particolare, il promettente aumento dell'uso di tablets, smartphones, robot, software per scopi educativi e app di vario tipo.

Infine, i dati confermano l'utilità conferita dagli studenti all'apprendere attraverso l'invenzione e la pratica, con un totale di 98,1% risposte tra "mediamente utile" e "del tutto utile". Pur allargandosi la fetta del "mediamente utile" (35,8%), si riduce notevolmente quella del "poco utile" (1,9%) e resta assente quella del "per nulla utile".



Graf. 2 – Tecnologie utilizzate a scuola (pre-Parte II).

### 4.3 Metodologia e strumenti valutativi

Il progetto si è sviluppato secondo un approccio multidisciplinare e longitudinale, coinvolgendo gli studenti in un percorso verticale funzionale all'apprendimento di diverse materie e orientato a pratiche laboratoriali e collaborative.

Inoltre, il progetto ha adottato la *Design-Based Implementation Research* (DBIR) come principale metodologia di riferimento (Fishman *et al.*, 2013), poiché volta a mettere a punto e testare il processo sperimentale avendo cura, da un lato, di interagire con i docenti della scuola come co-progettisti e, dall'altro, di tener conto della sostenibilità come indicatore dello stesso.

La DBIR si fonda su quattro principi cardine:

1. un focus sui problemi persistenti della pratica attraverso le prospettive di più *stakeholders*;
2. un impegno per una progettazione iterativa e collaborativa;
3. un interesse per lo sviluppo della teoria e della conoscenza relativa sia all'apprendimento in classe che all'implementazione attraverso un'indagine sistematica;
4. un interesse per lo sviluppo della capacità di sostenere il cambiamento nei sistemi.

La particolarità della DBIR come approccio metodologico risiede nel modo in cui i sostenitori concettualizzano una nuova relazione tra ricerca e pratica, che è reciprocamente trasformativa (Fishman *et al.*, 2013). La DBIR si fonda su una concettualizzazione radicalmente diversa dei rapporti tra ricerca e pratica e tra sviluppatore e attuatore dell'innovazione, volta a stabilire *partnership* tra le parti e a generare una sorta di "terzo spazio" (Gutiérrez, Rymes, & Larson, 1995), concepito come un luogo ibrido di

incontro tra ricercatori e professionisti organizzato per essere autosufficiente nel tempo. La ricerca non viene considerata come un processo lineare che conduce dalla progettazione da parte dei ricercatori alla messa in scala da parte degli operatori. Al contrario, la relazione tra ricerca alla pratica è più bidirezionale e ricorsiva (Coburn & Stein, 2010; Fishman *et al.*, 2013).

Riprendendo i quattro step della DBIR, il primo passo ha previsto l'individuazione e il focus su un problema condiviso; nel caso in esame, è emerso uno scarso o assente utilizzo delle moderne risorse tecnologiche a disposizione a fronte della carenza di formazione dei docenti e di proposte sostenibili e connesse alla pratica quotidiana.

Siamo dunque passati a un processo di pianificazione iterativa e collaborativa, partendo dagli specifici programmi curriculari e percorsi progettuali delle singole classi per definire possibili proposte di integrazione. A tal fine, abbiamo individuato tre criteri guida: (1) connettere le attività proposte ai contenuti curriculari; (2) lavorare per e sulle competenze degli studenti; (3) valutare i processi attivati per includerli nella valutazione finale degli studenti.

In linea con l'approccio Maker, abbiamo successivamente progettato varie sfide (vedi par. 4.4) basate su ideazione, pianificazione, costruzione e risoluzione, da svolgere prevalentemente in coppie o gruppi di tre alunni.

In particolare, abbiamo adottato i seguenti principi:

- attivare gli studenti a casa attraverso la strategia della *flipped classroom* (Bergmann & Sams, 2012) (ricerche, ripasso di argomenti, visione di materiali introduttivi, ecc.);
- conferire a ogni sessione la stessa struttura: anticipazione (Ausubel, 1968; Rivoltella, 2013), *brainstorming* e presentazione della sfida, pianificazione e attuazione, *debriefing* e autovalutazione;
- proporre compiti autentici (di interesse per gli alunni), stimolanti (nella zona di sviluppo prossimale) e aperti (più soluzioni possibili per garantire creatività e personalizzazione) (Rossi *et al.*, 2021).

Per la terza fase, relativa all'implementazione, è stata fondamentale l'azione di *modeling* operata dalla ricercatrice nei confronti dei docenti coinvolti, assumendo al contempo il ruolo di formatore e guida nell'azione didattica.

Infine, lo step conclusivo previsto dalla DBIR verte sulla capacità di sostenere il cambiamento dei sistemi. Il progetto pilota mira, infatti, in un'ottica macro, a definire delle linee guida come risultato condiviso tra ricercatrice e insegnanti, attraverso un processo di co-esplicitazione (Vinatier, 2007). L'obiettivo a lungo termine è dunque quello di promuovere il cambiamento del sistema a partire dalla formazione e dalla condivisione delle pratiche, impattando così sulla prassi curricolare dell'Istituto.

La valutazione del progetto è stata perseguita mediante l'utilizzo di strumenti quantitativi e qualitativi per la raccolta dei dati, privilegiando differenti modalità di valutazione che permettessero di apprezzare anche i processi sottesi e lo sviluppo delle abilità degli studenti.

Per quanto concerne l'analisi quantitativa, abbiamo selezionato due questionari precedentemente validati e tradotti in lingua italiana, volti ad indagare:

1. l'*attitude*<sup>56</sup> degli studenti verso le discipline STEM e le abilità del XXI secolo (Q1): versione originale del Friday Institute for Educational Innovation (2012), versione tradotta, modificata e validata da Screpanti (2020);
2. l'autoefficacia scolastica percepita degli studenti (Q2): versione originale di Bandura (1993), versione tradotta, modificata e validata da Pastorelli e Picconi (2001).

Il Q1 fa riferimento alla *S-STEM Survey*, sviluppata nel 2012 dal *Friday Institute for Educational Innovation* della North Carolina State University e dal team di valutazione dell'iniziativa "Golden LEAF STEM" al fine di progettare e validare uno strumento utile a valutare l'impatto dell'educazione STEM in contesti k-12 formali e informali<sup>57</sup>. Le aree indagate sono la matematica, le scienze, l'ingegneria e la tecnologia e le abilità del XXI secolo; queste ultime comprendono il pensiero critico, le abilità comunicative complesse, la risoluzione dei problemi e le capacità di autogestione. Screpanti (2020) presenta la versione tradotta e validata in italiano con l'aggiunta di un ulteriore costrutto relativo alla RE. Nel progetto presentato si è scelto di utilizzare la versione di Screpanti (2020) mantenendo solo le quattro sotto-scale originarie, di cui tre corrispondenti alle aree STEM, scienze (9 item), matematica (8 item), ingegneria / tecnologia (9 item), e una all'area delle abilità del XXI secolo (11 item), per un totale di 37 item. Tale scelta è legata all'età degli alunni, al numero già consistente di domande, a cui si vanno ad aggiungere quelle del Q2, e alla varietà di attività proposte, non limitate alla robotica. Gli item presentano una scala di risposta Likert a 5 punti, strutturata come segue: 1 = "Molto in disaccordo", 2 = "In disaccordo", 3 = "Né d'accordo, né in disaccordo", 4 = "D'accordo" e 5 = "Molto d'accordo".

<sup>56</sup> L'*attitude* dello studente verso una disciplina scolastica viene intesa come un composto di autoefficacia e convinzioni di aspettativa e valore, due importanti sottocomponenti della motivazione al raggiungimento dei risultati (Eccles & Wigfield, 2002).

<sup>57</sup> Lo sviluppo della *survey* è stato parzialmente supportato dalla *National Science Foundation* e dalla *Golden LEAF Foundation*. I risultati della validazione sono riportati in Unfried, Faber, Stanhope e Wiebe (2015).



Il Q2 fa riferimento alla scala per la valutazione dell'autoefficacia scolastica percepita di Pastorelli e Piccoli (2001). Le autrici si rifanno alla *Children's Self-Efficacy Scale* sviluppata da Bandura nel 1993, di cui selezionano e adattano alcuni item e sotto-scale (*Self-Efficacy for Academic Achievement*, *Self-Efficacy for Self-Regulated Learning*, *Social Self-Efficacy*). La scala era rivolta ad alunni di scuola primaria a cui si chiedeva di valutare il proprio grado di *confidence* indicando un numero da 0 a 100. Pastorelli e Picconi estendono e adattano gli item anche a ragazzi di scuola secondaria, presentando una scala di 19 item suddivisa in due sotto-scale. La prima misura le convinzioni che i bambini/ragazzi hanno circa la loro capacità di studiare alcune materie scolastiche (matematica, geografia, scienze, italiano, grammatica, storia, lingue straniere). La seconda esamina invece le convinzioni degli studenti circa la loro capacità di regolare la motivazione e lo svolgimento delle attività scolastiche e di trovare supporto e modalità di studio che favoriscano l'apprendimento. Gli item presentano una scala di risposta Likert a 5 punti, strutturata come segue: 1 = "Per nulla capace", 2 = "Poco capace", 3 = "Mediamente capace", 4 = "Molto capace", 5 = "Del tutto capace".

I due questionari sono stati somministrati all'inizio e al termine delle due parti del progetto.

Oltre ai questionari, ci siamo serviti di strumenti di natura qualitativa a supporto dell'indagine. Per tutto lo svolgimento del progetto abbiamo infatti previsto la compilazione da parte degli studenti di un personale diario di bordo, utile a tenere traccia di quanto fatto e ad evidenziare i loro progressi nella pianificazione, nella risoluzione delle sfide e nell'autovalutazione. Ogni diario è strutturato in tre sezioni:

1. introduzione (numero e titolo del *goal* affrontato, data, titolo della sfida);
2. progettazione-svolgimento (bozza del progetto e annotazioni);
3. conclusioni e riflessioni finali (scheda di autovalutazione).

L'ultima sezione è composta da otto domande a risposta chiusa e due domande a risposta aperta relative alle seguenti aree: comprensione e risoluzione della sfida [1-3], utilizzo di informazioni/materiali [2], lavoro in gruppo [4], verifica e miglioramento della soluzione [5], comunicazione delle proprie idee [6], gestione delle emozioni durante la discussione [7], gradimento dell'attività (con relativa motivazione) [9] e proposte di miglioramento per l'attività successiva [8]. Le domande a risposta chiusa presentano una scala di risposta a 4 punti rappresentata da quattro mattoncini della LEGO di differenti dimensioni.

A partire da tali quesiti, abbiamo co-progettato assieme ai docenti una rubrica di valutazione per valutare i processi alla base delle attività. Le sei dimensioni della rubrica individuate riflettono dunque le aree di

autovalutazione degli studenti e sono: (1) comprendere e gestire le fasi di lavoro; (2) individuare e selezionare informazioni e materiali; (3) conoscere e utilizzare le principali procedure informatiche e multimediali; (4) conoscere e utilizzare il lessico specifico; (5) parlare in pubblico; (6) *learning together*. Tali dimensioni sono valutate secondo i quattro livelli (in via di prima acquisizione, base, intermedio, avanzato) delineati dal nuovo sistema di valutazione italiano per la scuola primaria (MIUR, 2020).

Infine, al termine della Parte I, abbiamo condotto un focus group con gli insegnanti I1, I2 e I3 per indagare la loro opinione sulla sostenibilità della proposta (1), i suoi principali limiti ed effetti positivi (2) (soprattutto rispetto al miglioramento della visione STEM e della valutazione delle competenze), i cambiamenti nel loro approccio e nell'insegnamento quotidiano (3) e infine i possibili miglioramenti della proposta (4). Il focus group è stato condotto secondo le linee guida delineate in Krueger e Casey (2015) e Krueger (2002).

#### 4.4 Sintesi delle attività

Per la definizione delle attività siamo partiti dalla scelta di uno sfondo integratore al percorso e abbiamo così selezionato i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, o *Sustainable Development Goals* (SDGs), delineati dall'ONU (2015) nell'Agenda 2030. Tra questi abbiamo individuato sei obiettivi da affrontare, data la loro maggiore rilevanza in relazione ai programmi scolastici delle classi. Entrambe le parti del progetto possono essere suddivise in tre moduli, ognuno della durata di almeno un mese e dedicato a un obiettivo specifico. Ogni modulo si è svolto in tre o quattro incontri di circa due ore ciascuno.

L'avvio delle attività è stato preceduto da una fase essenziale di definizione e allineamento della proposta progettuale, nonché di familiarizzazione con gli strumenti da parte di docenti e studenti. Nello specifico, rilevati gli strumenti di cui disponeva l'Istituto e le principali esigenze e problematiche emerse, abbiamo dapprima introdotto alunni e docenti alla robotica, familiarizzando con il kit *LEGO WeDo 2.0* (composizione del kit, linguaggio di programmazione e applicazione, costruzione di un modello di base, funzionamento di sensori e motore) e successivamente alla stampa 3D, sperimentando i processi di modellazione, creazione e stampa 3D (introduzione al 3D, funzioni principali del software *TinkerCAD*, disegno di un oggetto e riproduzione 3D su software, visione del processo di stampa 3D, utilizzo delle penne 3D per creazioni guidate e libere).

#### 4.4.1 Parte I

La prima parte del progetto si è focalizzata in particolar modo su temi scientifici e civici legati a energie rinnovabili e sostenibilità, sicurezza e accessibilità e protezione del territorio e della biodiversità, con riferimento non solo a città e quartieri abitati ma anche agli ecosistemi montani. Tra gli obiettivi dell'Agenda 2030 abbiamo infatti selezionato: Goal 7 “*Energia pulita e accessibile*”, Goal 11 “*Città e comunità sostenibili*” e Goal 15 “*Vita sulla Terra*”. Al fine di garantire l'autenticità citata, le sfide hanno previsto un forte richiamo al contesto di appartenenza e di vita degli alunni, valorizzando dunque, anche e soprattutto, il loro vissuto in contesti informali e non formali.

Oltre a materiali riciclati o di uso comune, per la Parte I ci siamo serviti dei seguenti strumenti: kit di elettricità, kit *LEGO WeDo 2.0* e relativa applicazione per computer e tablet<sup>58</sup>; software *TinkerCAD*; applicazione web *Thinglink*<sup>59</sup>; stampante 3D *Ultimaker 3*<sup>60</sup>; sito web *QR Code Generator*<sup>61</sup>; applicazione *Google Street View*<sup>62</sup>. La natura e le caratteristiche di tali strumenti hanno permesso agli alunni non solo di lavorare su argomenti curricolari in ambito di scienze, geografia e educazione civica, ma anche di sviluppare trasversalmente conoscenze e competenze legate a coding, matematica, geometria, tecnologia, arte e italiano.

Come primo obiettivo abbiamo scelto di affrontare il n. 7, “*Energia pulita e accessibile*”, focalizzandoci sul traguardo 7.2<sup>63</sup>, al fine di accrescere la consapevolezza su caratteristiche e benefici delle energie rinnovabili e riflettere su alcuni concetti scientifici quali distanza, inclinazione, potenza e colore.

Dopo una fase di anticipazione, il primo obiettivo si è strutturato su tre attività (vedi Tab. 5). Il primo incontro è stato quindi dedicato all'energia solare ed eolica ed è iniziato con un richiamo all'obiettivo e ai concetti relativi alle energie rinnovabili e non rinnovabili (concentrandosi sulle prime). Sono stati poi presentati gli strumenti utili ad effettuare alcuni esperimenti: mini pannelli solari, mini motori, eliche, mini LED colorati, *abat-jour* e filtri colorati (realizzati con fogli di plastica trasparente). Abbiamo infatti chiesto agli studenti di sperimentare il funzionamento di

<sup>58</sup> <https://education.lego.com/en-us/downloads/retiredproducts/wedo-2/software>.

<sup>59</sup> <https://www.thinglink.com/it/>.

<sup>60</sup> <https://ultimaker.com/it/3d-printers/ultimaker-3>.

<sup>61</sup> <https://it.qr-code-generator.com/>.

<sup>62</sup> <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.street&hl=it&gl>.

<sup>63</sup> Traguardo 7.2: *Aumentare considerevolmente entro il 2030 la quota di energie rinnovabili nel consumo totale di energia.*

pale eoliche e pannelli solari analizzando la variazione della velocità di rotazione dell'elica e dell'intensità luminosa dei LED connessi ai pannelli rispetto alle seguenti variabili: distanza e inclinazione rispetto alla sorgente luminosa, potenza (quantità di calore) della sorgente luminosa, colore del filtro posto tra pannello e sorgente (giallo, rosso o blu). Per far lavorare gli alunni in veste di scienziati, abbiamo dapprima chiesto a ogni gruppo di formulare delle ipotesi nel diario di bordo, seguendo le domande guida fornite. Si è quindi passati alla fase di sperimentazione, in cui ogni gruppo ha potuto testare le proprie ipotesi nelle varie "stazioni" allestite in classe. Infine, dopo un confronto interno tra le ipotesi e le annotazioni registrate in fase di verifica, vi è stata una fase di restituzione in plenaria per confrontare i risultati e trarre conclusioni condivise.

Il secondo incontro può essere considerato una continuazione del primo, con l'obiettivo di rafforzare i concetti raggiunti. Infatti, dopo aver riepilogato quanto emerso nell'incontro precedente, a ogni gruppo è stato chiesto di rappresentare in modo creativo uno degli esperimenti svolti, legato a una data variabile e tipologia di energia, servendosi dei kit LEGO. Per esempio, alcuni gruppi hanno rappresentato l'esperimento sui pannelli solari, i LED e la distanza dalla fonte di luce; altri gruppi l'esperimento sul pannello solare, il motore con l'elica e l'inclinazione, e così via. I kit LEGO risultano particolarmente adatti per questa sfida grazie alla presenza di alcune parti elettroniche "speciali": un sensore di inclinazione, un sensore di movimento, un motore e una *smarthub* con LED. Gli alunni potevano ricorrere all'applicazione LEGO per trarre supporto e ispirarsi a qualche modello guida presente nella libreria (ad esempio costruire un'automobile, una ventola o un meccanismo di inclinazione). Tuttavia, la costruzione era completamente personalizzabile per promuovere la massima creatività e collaborazione tra gli alunni. In questo caso, il momento della restituzione prevedeva la presentazione da parte di ciascun gruppo del proprio modello e del suo funzionamento attraverso il codice progettato nell'applicazione.

L'incontro finale si è incentrato su un'altra energia rinnovabile, l'energia idroelettrica. Nei giorni precedenti, gli alunni hanno visionato video e foto sul funzionamento e la struttura di una centrale idroelettrica. Sono stati quindi invitati a pensare a quali oggetti comuni o materiali riciclati potevano essere utili per riprodurla e a portarli a scuola. L'incontro è iniziato con il consueto *brainstorming* su questo tipo di energia (funzionamento, tipologie, vantaggi e svantaggi) e la visione alla LIM di alcune centrali idroelettriche localizzate nelle vicinanze. Come anticipato dalle consegne per casa, la sfida proposta consisteva nel creare un modello di funzionamento di una centrale idroelettrica integrando oggetti/materiali riciclati o di uso comune e i kit di robotica. Considerando il tipo di attività, il tempo e lo spazio a disposizione,

abbiamo deciso di accoppiare le varie coppie o gruppi di tre per formare gruppi di 4 o 5 alunni. Il momento finale è stato nuovamente dedicato alla presentazione collettiva delle creazioni e ha offerto opportunità di discussione e scambio di feedback e suggerimenti. Una descrizione dettagliata di questo obiettivo e dei risultati preliminari è riportata in Gratani e Giannandrea (2021).

Tab. 5 – Struttura Goal 7 (Parte I).

	<i>Attività</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Strumenti</i>
0	Anticipazione per casa	Lettura approfondimenti, visione video	Materiali indicati dai docenti
A1	<i>Esperimenti sull'energia solare ed eolica</i>	Esperimenti con mini pannelli solari - mini motori con pale eoliche per esplorare il funzionamento di energia solare ed eolica	Kit di elettricità
A2	<i>Esploriamo l'energia solare ed eolica con i kit LEGO</i>	Progettazione e costruzione di modelli sul funzionamento dell'energia solare ed eolica in base agli esperimenti effettuati e alle variabili osservate	Kit e app LEGO WeDo 2.0, tablet
A3	<i>Esploriamo l'energia idroelettrica con kit LEGO e materiali di riciclo</i>	Progettazione e costruzione di modelli sul funzionamento dell'energia idroelettrica	Kit e app LEGO WeDo 2.0, tablet, materiali di uso comune o riciclo

L'obiettivo 11 “*Città e comunità sostenibili*” ha permesso agli alunni di riflettere sui concetti di sicurezza, sostenibilità e accessibilità, partendo proprio dai loro contesti di vita quotidiana (focus sui traguardi 1.2 e 11.7<sup>64</sup>). In particolare, abbiamo chiesto loro di individuare nel proprio paese (o in paese limitrofi) aree, edifici e mezzi di trasporto che presentassero problematiche rispetto a uno o più degli aspetti sopra citati, di annotare e/o fotografare tali elementi e di fare una piccola ricerca su Internet o su altre fonti cartacee per ricavare dati importanti da condividere in classe. Dopo tale

<sup>64</sup> Traguardo 11.2: *Entro il 2030, garantire a tutti l'accesso a un sistema di trasporti sicuro, conveniente, accessibile e sostenibile, migliorando la sicurezza delle strade, in particolar modo potenziando i trasporti pubblici, con particolare attenzione ai bisogni di coloro che sono più vulnerabili, donne, bambini, persone con invalidità e anziani.*

Traguardo 11.7: *Entro il 2030, fornire accesso universale a spazi verdi e pubblici sicuri, inclusivi e accessibili, in particolare per donne, bambini, anziani e disabili.*

fase di attivazione, anche l'obiettivo 11 si è strutturato su tre attività (vedi Tab. 6).

Una volta esaminati insieme foto e video in classe, ogni gruppo ha scelto uno spazio a cui dedicarsi e ha elaborato un progetto di miglioramento, definendolo attraverso un'apposita scheda informativa (di cosa si tratta; dove si trova; bozza della situazione attuale (com'è ora); problematiche rilevate; bozza del progetto finale (come sarà); breve descrizione del progetto di miglioramento; punti di forza; materiali necessari per la realizzazione; tempi di realizzazione; lavoratori coinvolti). Il fine era quello di contribuire assieme alla promozione di una "città intelligente" del futuro, ripensando un'area, un mezzo o un quartiere del proprio paese in un'ottica di sostenibilità, accessibilità e sicurezza. Gli interventi dei giovani progettisti si sono incentrati principalmente su: accesso alla scuola e al centro storico, fermate pubbliche e pensiline, sicurezza stradale e mezzi di trasporto, abitazioni e veicoli abbandonati, abitazioni per terremotati e cittadini stranieri, campi sportivi e spazi verdi, gestione di materiali e rifiuti.

Gli alunni sono quindi passati alla fase di realizzazione, costruendo i modelli dei loro progetti con i kit LEGO, i kit di elettricità e materiali di vario tipo. I progetti su carta e i modellini costruiti sono stati poi fotografati per disporre di documentazione utile ai fini della presentazione successiva.

Come ultimo step, infatti, i gruppi hanno lavorato alla promozione dei progetti creando presentazioni interattive e multimediali attraverso l'applicazione web *Thinglink*. Sfruttando le funzionalità dell'app, gli alunni hanno potuto inserire foto, descrizioni scritte e audio, mappe, video, riferimenti a pagine web, *tour* e quiz, personalizzando grafica e formati. Per ogni classe abbiamo poi riunito tutte le presentazioni in un'unica "stanza" virtuale, avente per sfondo una fotografia a 360° dell'aula, realizzata con l'applicazione *Google Street View*. Ogni gruppo ha quindi esposto il suo progetto proponendo una visita interattiva in 3D della propria stanza sulla LIM.

Tab. 6 – Struttura Goal 11 (Parte I).

	<i>Attività</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Strumenti</i>
0	Anticipazione per casa	Lettura approfondimenti, visione video, raccolta documentazioni	Materiali indicati dai docenti, fotocamera o videocamera
A1	<i>Ideare un progetto di miglioramento per una "città smart"</i>	Ideazione di progetti di miglioramento di aree e quartieri del proprio paese o di quelli limitrofi, a partire dalle fonti raccolte, per promuovere "città smart"	Fonti raccolte

<i>Attività</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Strumenti</i>
A2 <i>Realizzare il progetto</i>	Costruzione creativa di modelli dei progetti	Kit e app <i>LEGO WeDo 2.0</i> , tablet, kit di elettricità, materiali di uso comune o riciclo
A3 <i>Promuovere il progetto</i>	Promozione dei progetti attraverso la creazione di unacomputer o tablet, presentazione multimediale e smartphone, app <i>Google interattiva</i>	Web app <i>Thinglink</i> , <i>Street View</i>

Anche per l'ultimo obiettivo affrontato nella Parte I, n. 15 “*Vita sulla Terra*”, abbiamo voluto mantenere l'attenzione sul territorio circostante. Considerando la posizione geografica dei paesi coinvolti, ci siamo concentrati sulla salvaguardia degli ecosistemi montani, compresa la loro biodiversità, per migliorare la capacità di fornire servizi essenziali per lo sviluppo sostenibile (focus sul traguardo 15.4<sup>65</sup>). L'obiettivo si è articolato su cinque fasi (vedi Tab. 7) e la tipologia delle attività proposte ha reso necessario un arco temporale più esteso rispetto agli altri obiettivi affrontati.

Nella fase di anticipazione, abbiamo fornito agli alunni varie risorse per approfondire l'obiettivo da trattare e alcuni temi rilevanti per lo svolgimento delle attività, come: turismo sostenibile, Carta Europea del Turismo Sostenibile (C.E.T.S.), mobilità dolce e *green way*, speleologia, clima, flora e fauna dell'ecosistema montano regionale, lupo dell'appennino, infrastruttura verde, parchi e riserve naturali della regione, osservatorio regionale, Oasi WWF Marche. Abbiamo inoltre chiesto loro di ricercare ed individuare le principali problematiche di origine naturale o antropica che interessano la loro zona e, dopo averne discusso insieme in classe, ogni gruppo ha scelto la sfida su cui lavorare.

Anche in questo caso, i gruppi hanno progettato dispositivi e strumenti d'intervento per prevenire o agire in tali circostanze e hanno poi “dato vita” alle loro invenzioni tramite i kit LEGO. Le problematiche maggiormente individuate e trattate sono state: deforestazione, incendi, inondazioni, protezione e salvataggio di specie vegetali e animali a rischio. La restituzione tra i gruppi ha fornito molti spunti originali e creativi e ha aiutato gli alunni a comprendere limiti e potenzialità dei propri modelli e dei relativi codici.

L'attività successiva ha previsto l'ideazione di un logo legato all'ecosistema montano della propria regione, basandosi sulle informazioni raccolte attraverso la ricerca svolta per casa o le uscite effettuate in

<sup>65</sup> Traguardo 15.4: *Entro il 2030, garantire la conservazione degli ecosistemi montuosi, incluse le loro biodiversità, al fine di migliorarne la capacità di produrre benefici essenziali per uno sviluppo sostenibile.*

precedenza. I loghi potevano quindi trarre ispirazione da luoghi caratteristici, flora e fauna tipica, emblemi, ecc. L'ideazione e il disegno libero sono stati preceduti da un approfondimento sul concetto di logo e sulla sua funzione. Inoltre, abbiamo fornito alcuni criteri-guida per orientare l'ideazione, in vista delle attività successive: attinenza al tema, essenzialità, originalità e rispetto delle dimensioni. Nel confronto finale in plenaria, ogni gruppo ha mostrato ai compagni il logo ideato, chiarendo la sua attinenza rispetto al tema, e ha ricevuto preziosi feedback per migliorare o perfezionare il suo disegno.

Nell'incontro seguente, i gruppi hanno utilizzato il software *TinkerCAD* per rappresentare e convertire il proprio logo in un modello 3D, al fine di essere poi stampato in 3D mediante la stampante *Ultimaker 3*. Tale sfida ha richiesto una conoscenza e un utilizzo più approfondito del software rispetto alla fase iniziale di familiarizzazione, ponendo il focus sulla rappresentazione funzionale del logo in vista del processo di stampa 3D e della creazione del gadget. Gli alunni hanno dovuto perfezionare ulteriormente la creazione per garantire una maggiore essenzialità e schematicità delle forme, nonché le adeguate proporzioni. Ciò ha reso necessario un tutoraggio più frequente da parte di insegnanti o alunni più esperti. Completata la fase di rappresentazione in 3D, gli studenti hanno osservato il processo di stampa 3D e utilizzato i modelli tridimensionali ottenuti, unitamente a materiali di cancelleria, per creare gadget personalizzati di vario tipo, decorando oggetti personali portati da casa (ad esempio portachiavi, decorazioni per borracce, portafogli, vestiti).

L'ultima sfida ha coinvolto gli studenti nell'ideazione di un programma di turismo sostenibile per l'ecosistema montano della regione. Sulla base di tale programma, i gruppi dovevano poi ideare e creare un gioco da tavolo (ad esempio gioco dell'oca o gioco a tappe) in cui inserire luoghi e attività principali, mettendo in evidenza comportamenti responsabili e rispettosi dell'ambiente naturale e degli animali. Gli studenti hanno potuto arricchire il loro gioco stampando in 3D pedine, dadi o altri oggetti creati e personalizzati da loro su *TinkerCAD* e generando *QR codes* per inserire approfondimenti virtuali (rimandi a siti internet, video, foto, articoli, ecc.). L'attività di confronto e restituzione ha previsto, in questo caso, anche una fase di gioco libero affinché i vari gruppi potessero sfidarsi e sperimentare l'efficacia e l'utilità dei giochi creati.

Un'ulteriore esperienza arricchente è derivata, infine, dalla possibilità di incontrare ed intervistare in videochiamata alcuni docenti del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche (DIISM) dell'Università Politecnica delle Marche. Lo scambio, effettuato a distanza a causa l'emergenza sanitaria in corso, ha permesso infatti agli alunni di conoscere



le ultime frontiere esplorate dai ricercatori del DIISM nel campo dell'*Additive Manufacturing* e dell'Industria 4.0.

Tab. 7 – *Struttura Goal 15 (Parte I)*.

	<i>Attività</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Strumenti</i>
0	Anticipazione per casa	Lettura approfondimenti, visione video, ricerca	Materiali indicati dai docenti
A1	<i>Salvaguardia del territorio con i kit LEGO</i>	Progettazione e costruzione di modelli di dispositivi per prevenire o contenere problematiche connesse alla biodiversità dell'ecosistema montano della regione	Kit e app <i>LEGO WeDo 2.0</i> , tablet
A2	<i>Ideazione e stampa 3D di un logo per il territorio</i>	Ideazione di un logo legato all'ecosistema montano e creazione del modello 3D. Stampa 3D dei loghi e creazione di gadget personalizzati	Software <i>TinkerCAD</i> , computer, Stampante 3D <i>Ultimaker 3</i> , oggetti da decorare, materiali di cancelleria
A3	<i>Un gioco per promuovere il turismo sostenibile</i>	Ideazione e creazione di un gioco da tavolo per promuovere il turismo sostenibile nel territorio	Materiali di cancelleria, Software <i>TinkerCAD</i> , Stampante 3D <i>Ultimaker 3</i> , sito <i>Qr code generator</i> , smartphones
A4	<i>Videochiamata con UNIVPM</i>	Intervista e dialogo in videochiamata con il DIISM dell'Università Politecnica delle Marche per un approfondimento sull' <i>additive manufacturing</i>	Lista di domande per l'intervista

#### 4.4.2 Parte II

La seconda parte del progetto ci ha permesso di approfondire temi legati alle scienze, alla geografia e all'educazione civica come composizione e funzionamento di sostanze, materia e apparati del corpo umano, salute e benessere dell'uomo, cambiamento climatico e salvaguardia della biodiversità degli ecosistemi acquatici. Tra gli obiettivi dell'Agenda 2030 abbiamo infatti selezionato: Goal 3 "*Salute e benessere*", Goal 13 "*Lotta contro il cambiamento climatico*" e Goal 14 "*Vita sott'acqua*". Ancora una volta, le sfide hanno mantenuto le caratteristiche di apertura e autenticità,

richiamando esperienze personali e valorizzando i contesti di appartenenza degli alunni.

Le attività sono state avviate a novembre 2021, dopo una prima fase di allineamento, progettazione condivisa e familiarizzazione con i nuovi strumenti. Rispetto alla Parte I però, la seconda parte ha visto una maggiore diversificazione degli argomenti e degli strumenti utilizzati tra le classi, pur facendo riferimento agli stessi obiettivi e temi generali, per rispondere al cambiamento del campione. Come anticipato, infatti, la Parte II ha coinvolto due classi quinte con i due docenti curricolari già inclusi nella Parte I e due classi prime di secondaria di primo grado con i due nuovi docenti curricolari. Inoltre, gli esiti del focus group, condotto al termine della Parte I con gli insegnanti I1, I2 e I3, hanno contribuito a una preziosa revisione dell'organizzazione delle attività per incrementare la sostenibilità della proposta e attenuare i limiti evidenziati. Questi ultimi erano legati principalmente ai tempi; pertanto, abbiamo deciso di ridurre a due le sfide da affrontare nei tre o quattro incontri mensili previsti per ogni obiettivo.

Per la Parte II, oltre a materiali riciclati o di uso comune, gli studenti hanno utilizzato i seguenti strumenti: kit *LEGO WeDo 2.0* e relativa estensione su *Scratch 3.0* (solo classi di quinta primaria); kit *LEGO SPIKE Prime* e relativa applicazione<sup>66</sup> (solo classi di prima secondaria); kit *Makey Makey* e relativa estensione su *Scratch 3.0*; visori *ClassVR*<sup>67</sup>; web app *Thinglink* (solo classi di quinta primaria); piattaforma *CoSpaces Edu*<sup>68</sup> (solo classi di prima secondaria); piattaforma *Wooclap*<sup>69</sup>.

L'obiettivo 3 “*Salute e benessere*” ha dato avvio alla Parte II e ha posto il focus sui traguardi 3.4 e 3.d<sup>70</sup>. Nello specifico, l'obiettivo è stato affrontato in una duplice ottica (vedi Tab. 8). In un'ottica micro, abbiamo proposto un'attività volta ad analizzare e approfondire alcuni contenuti disciplinari previsti in scienze, ovvero la composizione e le caratteristiche di sostanze e materia - per le classi di prima secondaria - e quelle di apparati e sistemi del corpo umano - per le classi di quinta primaria. Gli alunni di prima secondaria hanno quindi rappresentato modelli di composizione di sostanze semplici e

<sup>66</sup> <https://education.lego.com/it-it/downloads/spike-app/software>.

<sup>67</sup> <https://www.classvr.com/it/>.

<sup>68</sup> <https://edu.cospaces.io/>.

<sup>69</sup> <https://www.wooclap.com/it/>.

<sup>70</sup> Traguardo 3.4: *Entro il 2030, ridurre di un terzo la mortalità prematura da malattie non trasmissibili attraverso la prevenzione e il trattamento e promuovere benessere e salute mentale.*

Traguardo 3.d: *Rafforzare la capacità di tutti i Paesi, soprattutto dei Paesi in via di sviluppo, di segnalare in anticipo, ridurre e gestire i rischi legati alla salute, sia a livello nazionale che globale.*

composte, stati di aggregazione e cambiamenti di stato della materia e vari esperimenti legati alle proprietà dell'acqua (ad esempio tensione superficiale e deviazione del flusso d'acqua). Per far ciò hanno potuto sfruttare i vantaggi offerti dal kit *LEGO SPIKE Prime*, rispetto al kit *LEGO WeDo 2.0*, come la possibilità di usare il sensore di rilevamento del colore, quello della forza e fino a tre motori contemporaneamente. I tre motori, ad esempio, sono risultati particolarmente utili per rappresentare i tre differenti stati di aggregazione, giocando su velocità di rotazione e movimento. Il sensore di rilevamento del colore si prestava particolarmente al riconoscimento e alla composizione di sostanze elementari (atomi dello stesso colore) o composte (atomi di colore differente), mentre quello della forza è risultato prezioso per simulare la rottura della tensione superficiale dell'acqua. Infine, anche il sensore di movimento, più sviluppato rispetto a quello fornito nel kit *WeDo 2.0*, è stato utilizzato soprattutto per rappresentare la deviazione del flusso d'acqua in presenza di oggetti elettrizzati. Ai gruppi di quinta primaria abbiamo chiesto invece di scegliere un apparato o sistema del corpo umano e di costruire un modello LEGO in grado di chiarire e veicolare la sua caratteristica/funzione chiave. Gli alunni hanno continuato ad utilizzare il kit *LEGO WeDo 2.0*, potenziato però dalla relativa estensione su *Scratch 3.0*. Quest'ultima ha infatti permesso di arricchire e personalizzare le creazioni con immagini, *sprite*, audio e registrazioni vocali. Gli studenti in passato avevano già utilizzato il software e appreso le sue funzioni basilari, riprese e approfondite poi in questa sede.

Per la sfida successiva abbiamo poi affrontato l'obiettivo adottando un'ottica più macro. Sulla base di letture e ricerche svolte a casa, abbiamo chiesto alle classi di ideare un gioco per sensibilizzare sui benefici o sugli effetti dannosi di determinate sostanze o molecole (ad esempio pesticidi, nubi tossiche, diossina, antiossidanti, sostanze bioattive, ecc.) - per le classi di prima secondaria - e sui comportamenti benefici o dannosi per la salute dei vari sistemi o apparati umani - per le classi di quinta primaria. Come di consueto, dopo una fase di confronto in plenaria, ogni gruppo ha scelto l'argomento su cui focalizzarsi. I giochi dovevano basarsi su una struttura quesito-risposta (stile "Sapientino") realizzata mediante la creazione di circuiti elettrici con mini LED, batterie piatte 3V e nastri conduttori in rame. Tale attività prevedeva dunque la ripresa e il consolidamento dei concetti di circuito, conduzione ed elettricità, già affrontati nel *Goal 7 - Parte I*, ma anche la possibilità di apprendere in maniera ludica i nuovi concetti esaminati. Anche in questo caso, infatti, l'attività si è conclusa con una restituzione da parte di ogni gruppo e una sfida tra gruppi per testare i giochi e trovare le risposte corrette.

L'obiettivo 3 ha infine offerto la possibilità di riflettere assieme anche sulla situazione di emergenza sanitaria in atto, contribuendo ancora una volta ad accrescere l'autenticità delle sfide proposte.

Tab. 8 – *Struttura Goal 3 (Parte II).*

	<i>Attività</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Strumenti</i>
0	Anticipazione per casa	Lettura approfondimenti, visione video, ricerca	Materiali indicati dai docenti
A1	<i>Esploriamo la materia / il corpo umano con i Kit LEGO (ottica micro)</i>	Progettazione e costruzione di modelli sul funzionamento di sostanze e materia / di sistemi e apparati del corpo umano	Kit <i>LEGO WeDo 2.0</i> , Kit <i>LEGO SPIKE Prime</i> , <i>Scratch 3.0</i> , tablet, computer
A2	<i>Un gioco di circuiti per promuovere salute e benessere (ottica macro)</i>	Ideazione di un gioco per sensibilizzare su benefici o effetti dannosi di determinate sostanze o molecole / relativi alla salute del sistema o dell'apparato scelto	Kit <i>Makey Makey</i> , LED, batterie piatte 3V, nastro di rame adesivo, materiali di cancelleria

La scelta dell'obiettivo 13 "*Lotta contro il cambiamento climatico*" mirava a porre l'attenzione degli studenti su un tema indubbiamente significativo e pregnante per la società attuale. Come ben riassunto dal traguardo 13.3<sup>71</sup>, l'intento era infatti quello di sensibilizzare sulle cause e gli effetti del cambiamento climatico, nonché sui possibili interventi preventivi e mitigatori (vedi Tab. 9).

Le fasi di anticipazione e *brainstorming* sono risultate a tal fine rilevanti per rendere gli alunni consapevoli di quanto gli effetti nocivi sul clima (aumento delle temperature, eventi meteorologici estremi, aumento del livello del mare e riduzione delle spiagge, scarsità di raccolto agricolo, ecc.) incidano, a loro volta, sull'abitabilità del pianeta, sulla qualità della vita e dunque su molte delle loro abitudini quotidiane.

A partire da tali premesse, ci siamo soffermati in un primo momento sugli effetti legati all'ambiente, chiedendo agli alunni di progettare con i kit LEGO dei dispositivi per contrastare/ridurre l'impatto del cambiamento climatico in relazione soprattutto ad acqua (solo per le classi di prima secondaria), aria e suolo, trattandosi di argomenti affrontati in scienze.

Successivamente, abbiamo spostato il focus sulle azioni dell'uomo, al fine di ideare ancora una volta un gioco quesito-risposta per promuovere

<sup>71</sup> Traguardo 13.3: *Migliorare l'istruzione, la sensibilizzazione e la capacità umana e istituzionale per quanto riguarda la mitigazione del cambiamento climatico, l'adattamento, la riduzione dell'impatto e l'allerta tempestiva.*

comportamenti utili a salvaguardare il clima e prevenire le trasformazioni climatiche, sensibilizzando sulle cause. Tale sfida richiamava per intento, concetti, materiali e modalità progettuale quella posta al termine del precedente obiettivo, ma rendeva il gioco più “digitale” grazie all’integrazione del kit *Makey Makey* e della relativa estensione su *Scratch 3.0*. Gli alunni si sono divertiti a creare pulsanti di risposta, alcuni utilizzando la carta stagnola e il rame adesivo forniti, altri andando alla ricerca di materiali conduttori in classe o sfruttando addirittura i propri corpi, divenendo essi stessi dei “pulsanti viventi”. I giochi sono stati infine testati in grande gruppo sfruttando anche la proiezione alla LIM e tutti gli stimoli audio-visivi offerti dal kit e dal software.

Tab. 9 – *Struttura Goal 13 (Parte II)*.

	<i>Attività</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Strumenti</i>
0	Anticipazione per casa	Lettura approfondimenti, visione video, ricerca	Materiali indicati dai docenti
A1	<i>Salvaguardia di aria, (acqua) e suolo con i kit LEGO</i>	A partire da ricerca e video preparatori, ideare e costruire modelli di dispositivi per contrastare/ridurre l’impatto del cambiamento climatico in relazione ad aria, (acqua) e suolo	Kit <i>LEGO WeDo 2.0</i> , Kit <i>LEGO SPIKE Prime</i> , <i>Scratch 3.0</i> , tablet, computer
A2	<i>Salvaguardia del clima con il kit Makey Makey</i>	Ideare un gioco, basato su una struttura quesito-risposta, per promuovere comportamenti utili a salvaguardare il nostro clima e prevenire le trasformazioni climatiche, sensibilizzando sulle cause	Kit <i>Makey Makey</i> , <i>Scratch 3.0</i> , computer, anastro di rame adesivo, carta stagnola, materiali di cancelleria

L’ultimo obiettivo affrontato, n. 14 “*Vita sott’acqua*”, ha posto nuovamente l’accento sulla sostenibilità e sulla salvaguardia dell’ambiente naturale, incentrandosi questa volta sull’ecosistema acquatico (focus sui traguardi 14.1 e 14.2<sup>72</sup>).

A partire da una discussione collettiva sulle caratteristiche e le problematiche legate agli ecosistemi marini e costieri, individuate attraverso

<sup>72</sup> Traguardo 14.1: *Entro il 2025, prevenire e ridurre in modo significativo ogni forma di inquinamento marino, in particolar modo quello derivante da attività esercitate sulla terraferma, compreso l’inquinamento dei detriti marini e delle sostanze nutritive.*

Traguardo 14.2: *Entro il 2020, gestire in modo sostenibile e proteggere l’ecosistema marino e costiero per evitare impatti particolarmente negativi, anche rafforzando la loro resilienza, e agire per il loro ripristino in modo da ottenere oceani salubri e produttivi.*

video e approfondimenti, abbiamo invitato gli alunni a progettare un'esperienza virtuale per promuovere la rilevanza di tali ecosistemi e la loro tutela. L'esperienza doveva essere ricreata tramite il software *CoSpaces Edu* - per le classi di prima secondaria - e *Thinglink* - per le classi di quinta primaria, realizzando una o più "stanze" virtuali informative con approfondimenti audio-visivi, sondaggi e/o quiz (vedi Tab. 10). Come per le altre sfide, ogni gruppo si è dedicato ad un tema specifico. Tra i temi affrontati troviamo: la tutela della fauna o della flora dell'ecosistema acquatico, la riduzione della pesca intensiva, dell'inquinamento o dell'acidificazione dell'oceano e l'aumento dell'energia rinnovabile. Sono così sorti ambienti immersivi sulla superficie di mari o laghi per approfondire i danni dell'inquinamento e della pesca intensiva e sui fondali marini o oceanici per andare alla scoperta di fauna e flora acquatiche e individuare accorgimenti per la loro tutela. Gli studenti si sono divertiti a ricreare scenografie estremamente personalizzate e arricchite tramite pannelli informativi, foto, *GIF* e personaggi animati, spesso volti all'intrattenimento del "visitatore" con curiosità, quiz o indicazioni.

In fase di restituzione, ogni gruppo ha presentato il suo ambiente proiettandolo alla LIM e invitando gli altri gruppi ad interagire e ha poi nominato un gruppo per la sperimentazione immersiva dello stesso mediante i visori *ClassVR*. L'immersione è avvenuta tramite il collegamento alla rete Wi-Fi della scuola e mediante la scansione del *QR code* relativo all'ambiente creato. La selezione dei gruppi è dipesa dal numero dei visori a disposizione (quattro) e da ragioni di sicurezza. La sperimentazione a turni ha infatti consentito di rispettare gli spazi di movimento, nonché le distanze e le misure igienico-sanitarie richieste.

Il lavoro iterativo condotto fino a quel momento sulle tappe di ideazione, progettazione, realizzazione, presentazione e autovalutazione dei propri lavori ci ha spinti a coinvolgere gli alunni in una valutazione tra pari che desse ancor più rilevanza a tali tappe e agli artefatti realizzati. Abbiamo infatti chiesto agli studenti di valutare su una scala da 1 a 4 (rappresentata con i mattoncini LEGO utilizzati nel diario di bordo) l'esperienza interattiva e immersiva realizzata dagli altri gruppi, facendo riferimento a quattro item: contenuto, grafica, coinvolgimento e originalità. Gli item sono stati chiariti già in fase progettuale, così da favorire orientamento e allineamento rispetto ai risultati attesi. Per effettuare la votazione abbiamo utilizzato l'opzione di domanda *rating* offerta da *Wooclap*, sfruttando l'immediatezza e la semplicità di utilizzo della piattaforma e soprattutto la possibilità di visionare in tempo reale i risultati tramite un istogramma a barre orizzontali. La visualizzazione dei punteggi ci ha permesso infatti di arricchire la

discussione in plenaria e la fase di riflessione dei vari gruppi, in un’ottica di valorizzazione, analisi critica e miglioramento.

Tab. 10 – Struttura Goal 14 (Parte II).

	<i>Attività</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Strumenti</i>
0	Anticipazione per casa	Lettura approfondimenti, visione video, ricerca	Materiali indicati dai docenti
A1	<i>Progettare e realizzare un’esperienza virtuale per promuovere la tutela delle acque</i>	A partire da video e approfondimenti, progettazione e creazione di un’esperienza virtuale per promuovere la rilevanza degli ecosistemi acquatici e la loro tutela (focus su tema scelto)	Fonti raccolte
A2	<i>Sperimentare l’esperienza immersiva</i>	Sperimentazione dell’esperienza immersiva tramite visori e valutazione tra pari	Software <i>Thinglink</i> , piattaforma <i>CoSpaces Edu</i> , visori <i>ClassVR</i> , piattaforma <i>Wooclap</i> , computer

## 4.5 Risultati e considerazioni finali

Gli esiti dell’analisi quantitativa fanno riferimento alle quattro somministrazioni dei questionari Q1 e Q2 e, in particolare, ai dati emersi da: confronto pre-post della Parte I, confronto pre-post della Parte II e confronto pre-Parte I - post-Parte II. Si è ritenuto inoltre opportuno e interessante, viste le attuali considerazioni sul tema, approfondire l’analisi soffermandosi sulla variabile genere. Data la limitatezza del campione, non sono stati impiegati test statistici per l’analisi dei dati. Inoltre, nell’analisi relativa alla Parte II, abbiamo tenuto conto solamente dei 50 studenti che hanno partecipato anche alla Parte I, per garantire una corrispondenza tra le due popolazioni.

Il progetto ci ha consentito di impattare sulle *life skills* degli studenti (Gratani & Giannandrea, 2022), sollecitando le tre aree interconnesse di competenza delineate nell’European Framework “*LifeComp*” del 2020 (Sala *et al.*, 2020) e quelle descritte dal World Economic Forum (2015).

Gli item relativi alle abilità del XXI secolo e alle abilità per l’apprendimento autoregolato hanno permesso di indagare quasi tutte le categorie di abilità e qualità caratteriali presenti nei Framework. Nei vari confronti pre-post, le abilità del XXI secolo hanno ottenuto i punteggi più elevati rispetto alle altre aree indagate dal Q1 e dal confronto pre-Parte I e

post-Parte II si evidenzia un buon range di incremento per quasi tutte le abilità esaminate. Inoltre, se nei pre-post delle due parti notiamo uno sviluppo più consistente delle abilità legate alla sfera interpersonale, dal confronto più esteso emerge un rilevante incremento anche di quelle legate alla sfera personale. Le aree di miglioramento costanti sono riferibili alle abilità organizzative e di *leadership*. Tali abilità rappresentano dei requisiti chiave per il mercato odierno e, insieme alle altre, sono state supportate dal lavoro di gruppo con sfide e argomenti specifici, ruoli assegnati, pianificazione del lavoro e meta-riflessione sui risultati. L'impatto sulle abilità organizzative è poi confermato dagli esiti del Q2 sulle abilità per l'apprendimento autoregolato, dove il progresso maggiore nei tre confronti si rileva negli item relativi alla programmazione e l'organizzazione delle attività.

La regolarità delle fasi mirava alla graduale adozione di una postura di lavoro consapevole, collaborativa e riflessiva da parte degli alunni, migliorando le loro capacità organizzative e di gestione degli errori, nonché le competenze interpersonali, espositive e civiche. Inoltre, un valore aggiunto di questi ambienti è stato il feedback immediato derivante dall'azione e dall'artefatto con cui gli studenti dovevano confrontarsi, per riprogettare e riflettere su quanto fatto (Daniela & Strods, 2019; Gratani *et al.*, 2021).

Rispetto all'*attitude* verso le discipline STEM, gli studenti hanno mostrato una propensione più marcata per i campi dell'ingegneria e della tecnologia e, nello specifico, un particolare interesse nel conoscere il funzionamento dell'elettronica o di un dispositivo e nell'immaginare di creare nuovi prodotti. Il maggior range di crescita si rileva invece per gli item relativi al sentirsi bravi nel costruire o riparare cose e, ancora più rilevante, per quelli relativi a prospettive lavorative in questi campi. Quest'ultimo progresso è rintracciabile anche nell'ambito matematico-scientifico, dove, soprattutto nel pre-post Parte I e nel pre-post complessivo, le principali aree di incremento vertono proprio sul considerare la matematica, e ancor più le scienze, per studi o lavori futuri. Inoltre, in tutti i confronti emerge un'*attitude* elevata verso le prospettive di miglioramento dell'andamento disciplinare e si evidenzia un progressivo sviluppo delle aree più critiche relative ad un futuro impiego che preveda l'uso avanzato delle discipline. In ultimo, è importante considerare che, nonostante l'ambito matematico-scientifico abbia ottenuto livelli di *attitude* inferiori, specie per la matematica, adottando una prospettiva a lungo raggio quest'ultimo mostra uno sviluppo leggermente superiore rispetto all'altro costruito.

Infine, gli alunni hanno accresciuto anche la loro autoefficacia percepita verso le discipline scolastiche, come confermato dai vari confronti pre-post



del Q2. È interessante notare come questa crescita includa anche le discipline non attinenti all'ambito STEM, come storia, geografia, lingue straniere e italiano. Infatti, seppur meno esplicitamente, le attività presentate hanno sollecitato trasversalmente abilità legate alla quasi totalità delle discipline scolastiche, tra cui comprensione e produzione linguistica, orientamento, percezione e gestione dello spazio, fisico e virtuale, e consapevolezza in materia di cittadinanza. Tale esito richiama l'importanza di sollecitare e valutare, attraverso le attività maker, anche i campi non legati alle STEM (Lin *et al.*, 2020). La seconda somministrazione mostra un maggior equilibrio tra i valori di autoefficacia, mentre il confronto a lungo termine evidenzia un considerevole aumento per tutte le discipline, ad eccezione di storia e matematica, che conseguivano però i punteggi più elevati o i range più ampi di incremento nelle singole somministrazioni. Tale esito può essere ricondotto a quanto già emerso nel Q1 e quindi alla graduale complessità che caratterizza in particolar modo la disciplina matematica e ai cambiamenti nel metodo di studio accentuati dal cambio di annualità e soprattutto di grado scolastico.

La successiva analisi in base alla variabile genere ci ha permesso di esaminare eventuali distinzioni tra il sotto-campione maschile e quello femminile. Gli esiti delle quattro somministrazioni dei questionari mettono in luce valori complessivamente superiori da parte delle studentesse nel secondo costrutto del Q2 (abilità per l'apprendimento autoregolato) e in tutti i costrutti del Q1, ad eccezione dell'area ingegneria e tecnologia nel post-Parte II e con un divario particolarmente ampio nell'area delle abilità del XXI secolo. Il sotto-campione maschile mostra invece valori medi di autoefficacia leggermente superiori verso le discipline scolastiche indagate dal Q2 (in tutte le somministrazioni eccetto la prima) e migliora quelli relativi all'*attitude* nelle varie aree di Q1, riducendo progressivamente il dislivello rispetto al sotto-campione femminile. Similmente, Kafai e colleghi (2014) affermano che il più grande successo del loro studio è stata la constatazione che ragazze e ragazzi si sono impegnati allo stesso modo nei vari aspetti del *craft*, del coding e dei circuiti. Tali risultati vanno quindi nella direzione di "scardinare" gli stereotipi radicati per avallare invece le posizioni e le iniziative a favore delle pari opportunità di accesso a studi e professioni tecniche e scientifiche da parte delle giovani studentesse.

Spostando l'attenzione sui dati qualitativi, l'analisi dei diari di bordo ha consentito di ricavare ulteriori dati rilevanti in merito allo sviluppo delle *life skills* degli studenti. Ogni sfida, per le sue peculiarità in termini di strumenti utilizzati, obiettivi e dinamiche di gruppo, ha più o meno sollecitato le varie abilità evidenziando criticità e progressi. Tra le sfide di ogni obiettivo affrontato, emerge uno sviluppo progressivo degli item indagati e, in

entrambe le parti, gli studenti mostrano dei buoni o ottimi livelli di autoefficacia rispetto al lavorare bene in gruppo, comunicare con chiarezza le proprie idee e controllare le emozioni nel confronto con gli altri. A ciò si aggiunge la capacità di utilizzare strumenti e informazioni a disposizione e di testare e migliorare la propria soluzione. Rispetto all'intero percorso, i punteggi medi più elevati si riscontrano per l'utilizzo efficace di strumenti e informazioni e la capacità di lavorare bene in gruppo.

I propositi di miglioramento degli studenti sono rivolti primariamente alle seguenti aree: comunicazione e collaborazione all'interno del gruppo (ascoltare o aiutare di più, coinvolgere maggiormente i compagni, comunicare meglio le proprie idee, essere meno timidi); uso tecnico e creativo degli strumenti; ideazione e progettazione dell'artefatto (miglioramento tecnico/grafico, maggior contributo con nuove idee e invenzioni, maggiore originalità e creatività); approfondimento di contenuti e risorse integrate; gestione efficiente del tempo; gestione delle difficoltà emerse e delle emozioni in fase di confronto.

Gli alunni hanno espresso infine un elevato gradimento per tutte le sfide proposte e le principali ragioni riportate vertono sulla natura collaborativa, pratica, creativa e ludica delle attività, sull'attivazione in prima persona e sul coinvolgimento della realtà extra-scolastica. Gli studenti hanno infatti apprezzato l'interdisciplinarietà dei temi trattati; la possibilità di sperimentare nuovi strumenti e di scoprire cose nuove imparando e, a loro volta, insegnando ai propri compagni; l'opportunità di creare un artefatto proprio e di contribuire ad una creazione di gruppo; la possibilità di utilizzare le tecnologie per promuovere progetti utili per il proprio territorio o, in prospettiva più ampia, per l'intero pianeta; l'opportunità di esprimersi e di "mettere in pratica" le proprie idee e conoscenze per un fine utile e concreto.

Le considerazioni riportate dagli studenti aprono a numerosi spunti di riflessione. Gli alunni hanno mostrato una consapevolezza sempre maggiore dei loro limiti e dei loro traguardi, ponendo il focus principalmente sulle proprie capacità relazionali, a conferma dell'impronta fortemente sociale delle attività maker, ma anche su aspetti legati alla sfera personale, come autoregolazione e flessibilità, e a quella di imparare a imparare, come pensiero critico e gestione dell'apprendimento. La maggioranza dei propositi di miglioramento avanzati dagli alunni verteva, infatti, sulle dinamiche comunicative e collaborative all'interno del gruppo, oltre che sulla gestione delle risorse e dei tempi.

Questi dati richiamano gran parte dei vantaggi ricondotti alla *Maker Education* e all'RE, citati nei paragrafi 2.1 e 2.5. In particolare, emerge una spinta alla creatività, all'autorialità e alla responsabilizzazione degli alunni, nonché una visione positiva dell'errore e un focus sul problem-solving al fine di stimolare il pensiero critico e creativo. L'auto-progettazione e

realizzazione degli artefatti, lo stimolo all'immaginazione e alla libertà intellettuale, nonché la possibilità di impattare su un contesto di vita reale attraverso un'esperienza *embodied* possono rilevarsi elementi chiave per accrescere l'*empowerment* degli alunni (Gershenfeld, 2005; Leinonen *et al.*, 2020). Inoltre, come sottolineato poi dalle insegnanti, le attività hanno fornito uno "spazio sicuro" per sperimentare nuovi modi di lavorare e di collaborare in squadra e per affrontare l'intensa esperienza del fallimento (Blikstein, 2013). Gli alunni hanno infine espresso un forte interesse verso le tecnologie e soddisfazione nel poterle utilizzare per produrre un artefatto funzionale, comprovando, anche in questo caso, l'esigenza sempre più pressante di ridurre il *gap* tecnologico tra contesti scolastici e insegnanti, da un lato, e la nuova generazione di discenti, dall'altro.

Molte di queste osservazioni coincidono con quelle riferite dalle insegnanti in occasione del focus group. Nello specifico, le quattro tematiche indagate hanno messo in luce il punto di vista delle insegnanti su quanto svolto e sono risultate estremamente preziose per una rimodulazione del percorso nell'ottica di una sua maggiore funzionalità e sostenibilità. Per quanto concerne il primo tema (sostenibilità della proposta), le insegnanti hanno ritenuto la proposta complessivamente sostenibile, in particolar modo per l'orario settimanale dedicatovi, l'inclusività promossa e l'accurata progettazione iniziale e scansione delle attività. In relazione alla seconda tematica (principali limiti ed effetti positivi della proposta), possiamo riassumere le principali criticità individuate come segue:

- gestione dei tempi (prolungamento dei tempi dedicati alla fase di costruzione con conseguente riduzione dei tempi previsti per le fasi di condivisione finale e di autovalutazione individuale);
- gestione dello spazio (utilizzo dello stesso ambiente riservato alla didattica quotidiana, difficoltà logistiche connesse alle misure emergenziali e alla disponibilità o al funzionamento degli strumenti di supporto);
- creazione di gruppi funzionali ed equilibrati;
- condivisione e collaborazione con i colleghi (timore di non trovare appoggio a causa della scarsa formazione dei docenti sul tema e della distanza rispetto alla didattica tradizionale).

Si conferma dunque la necessità di una revisione dell'assetto spazio-temporale dei sistemi scolastici in vista di una maggiore flessibilità, funzionalità e personalizzazione e di un mirato programma di formazione di insegnanti e futuri insegnanti al fine di superare resistenze spesso derivanti dalla mancanza di esperienza e di conoscenza tecnica e metodologica.

Al contempo, le docenti hanno segnalato numerose ricadute positive, molte delle quali già emerse dall'analisi dei diari di bordo:

- coinvolgimento dello studente promosso dalla natura sfidante delle attività (tematiche molto attuali e interdisciplinari);
- attivazione in prima persona dello studente e coinvolgimento di realtà territoriali e altri contesti di vita;
- sollecitazione di abilità manuali/artigianali per tradurre nella pratica quanto emerso a livello concettuale;
- natura democratica delle attività (spazio di espressione per tutti);
- valore aggiunto delle tecnologie in relazione ad inclusione e sviluppo di abilità diversificate;
- approccio *embodied* e reificazione dei passaggi svolti per la creazione dell'artefatto;
- impatto della routine del confronto finale su capacità espositive, emotive e relazionali degli alunni;
- impatto su autostima degli alunni e su capacità di esprimersi, dare il proprio contributo e aiutare i compagni grazie all'aspetto ludico e alla riduzione dell'ansia associata al voto;
- valorizzazione delle abilità pratiche e continuità con la realtà familiare e informale degli studenti.

I benefici sono riferibili anche al miglioramento della valutazione delle competenze e della visione complessa legata alle STEM. Secondo le docenti, infatti, le attività maker forniscono un accesso “privilegiato” per osservare le competenze (disciplinari e soprattutto trasversali) in evoluzione, non sempre rilevabili nelle attività tradizionali, nonché un approccio facilitato verso le discipline STEM (in particolare la matematica) grazie all'approccio più ludico, umanistico e creativo e a un contesto più rilassato, non vissuto come puro esercizio.

Focalizzandoci poi sull'*habitus* professionale del docente, il focus group ha evidenziato un primo impatto su quest'ultimo. Le insegnanti hanno sperimentato un diverso approccio alla robotica e alla sua introduzione nella didattica quotidiana, grazie all'esperienza di *modeling* e tutoring ricevuta e all'opportunità di mettersi in gioco per imparare e indagare insieme agli alunni, favorendo una maggiore responsabilizzazione e partecipazione degli stessi. Le docenti hanno inoltre compreso l'importanza di una progettazione attenta ed efficace, ai fini di eventuali rimodulazioni in azione, e di una differente strutturazione della didattica quotidiana (scansione delle attività e ritualità progettuale e autovalutativa).

È interessante notare come sia alunni che docenti si siano soffermati sulla possibilità di rivestire un duplice ruolo in queste attività, essendo al contempo allievi e formatori in una prospettiva di mutuo scambio, supporto e sviluppo. Tale rovesciamento di prospettiva si allinea perfettamente con la

nuova figura di docente auspicata nei contesti di apprendimento del XXI secolo, che vede quest'ultimo come guida e osservatore al fianco dello studente, piuttosto che "travasatore" e giudice (Cecchinato & Papa, 2016; Rivoltella, 2018). Il cambio dell'assetto progettuale e strutturale della didattica quotidiana risulta poi rilevante per rispondere alle sfide derivanti da complessità ed emergenze sempre più frequenti nei contesti scolastici.

In ultimo, le docenti hanno individuato le seguenti proposte di miglioramento:

- migliore gestione dei tempi e degli spazi: ripensare la scansione delle attività per dedicare un tempo adeguato a tutte le fasi di lavoro e predisporre spazi e strumenti di supporto idonei per ridurre le difficoltà logistiche;
- maggiore e più efficace condivisione delle attività con i colleghi;
- diffusa formazione (anche a livello tecnico) e aggiornamento del corpo docente;
- tempo più disteso per sperimentare i nuovi strumenti e occasioni periodiche di riflessione e confronto tra docenti;
- "contaminazione" tra la parte artistica/umanistica e tecnologica del corpo docente, per favorire dei percorsi realmente STEAM.

Tali proposte risultano coerenti con le criticità segnalate in precedenza. Il bisogno di formazione e sperimentazione sul campo viene sottolineato e riconosciuto dalle docenti stesse come punto centrale per una efficace implementazione su larga scala dell'approccio. Inoltre, molto interessante in tal senso è anche la proposta di "contaminazione" tra ambiti disciplinari, fondamentale alla scuola primaria, ma forse ancor più rara e vantaggiosa alla secondaria, in vista di una negoziazione di pratiche e di un supporto reciproco tra gli insegnanti e di una proposta più integrata e proficua per gli studenti. Tomkin e colleghi (2019) sottolineano l'importanza di coinvolgere gli insegnanti all'interno di comunità di pratica e metterli in contatto tra loro, osservando come gli insegnanti membri di questi gruppi siano più propensi a cambiare mentalità verso l'adozione di pratiche di apprendimento attivo. Al termine del focus group, tra i vari punti discussi, le docenti hanno poi selezionato come aspetti più salienti l'impatto sulla motivazione degli alunni e la messa in discussione del proprio *habitus* per adottare posture e prospettive differenti. L'integrazione delle attività maker nella didattica quotidiana ha infatti fornito al docente l'opportunità di mettere in discussione le proprie pratiche e la propria postura nei confronti delle nuove tecnologie. Inoltre, come evidenziato dalle docenti stesse, le tecnologie hanno rappresentato un mezzo per favorire lo sviluppo di abilità diversificate, incentivando la devoluzione (Brousseau, 1986) e facilitando l'inclusione di tutti gli studenti coinvolti.

## 5. Valutare nei contesti maker

### 5.1 Verso un nuovo paradigma valutativo

Oggi la scuola e i docenti sono chiamati ad affrontare numerose questioni critiche legate alla valutazione. Tra queste vi sono lo scoraggiamento, la competizione e l'eccessiva attenzione ai voti da parte degli studenti, spesso legate all'uso di test (Stiggins, 2002; Black & Wiliam, 1998), e la mancata o scarsa condivisione di metodi e finalità tra colleghi, studenti e famiglie. L'azione didattica richiede nuove modalità di monitoraggio e valutazione dell'apprendimento, orientate a una dimensione costruttiva e formativa, piuttosto che certificativa e sommativa (Rossi *et al.*, 2021). La valutazione diventa formativa quando le prove raccolte vengono utilizzate concretamente per adattare le pratiche di insegnamento ai bisogni di apprendimento degli alunni (Gratani, 2021).

Stiggins (2002), commentando la crisi della valutazione in atto, introduce la distinzione tra due approcci alla valutazione: la valutazione dell'apprendimento (*assessment OF learning*) e la valutazione finalizzata all'apprendimento (*assessment FOR learning*). La valutazione dell'apprendimento è legata alla capacità di ricordare fatti memorizzati ed è tipicamente effettuata al termine di un'unità di studio e misurata con un giudizio o un voto (Earl, 2013; Dixson & Worrell, 2016). Questo tipo di valutazione, gestita principalmente, se non esclusivamente, dal valutatore, lascia poco spazio a feedback e indicazioni per il miglioramento ed è vista dagli studenti con diffidenza e timore. Nonostante le critiche, molti ricercatori concordano sul fatto che la valutazione dell'apprendimento sia ancora la forma di valutazione più diffusa (Earl, 2013; Kvale, 2007).

La prospettiva della valutazione per l'apprendimento propone di ripensare la valutazione in vista del sostegno e del miglioramento dell'apprendimento (Sambell, McDowell, & Montgomery, 2013; Dixson & Worrell, 2016). Secondo la definizione di Earl (2013, p. 27), la valutazione per l'apprendimento «sposta l'enfasi dalla valutazione sommativa alla valutazione formativa, dall'assegnazione di giudizi alla creazione di

descrizioni che possono essere utilizzate nelle successive fasi di apprendimento». La valutazione per l'apprendimento ha un duplice scopo: da un lato, informare gli insegnanti sull'andamento del processo di apprendimento e su eventuali azioni e interventi necessari e, dall'altro, informare gli studenti sul livello raggiunto e su come migliorare le loro prestazioni di apprendimento.

Nel corso degli ultimi anni abbiamo assistito ad un'evoluzione del concetto di valutazione, passando da una valutazione dell'apprendimento a una valutazione per l'apprendimento (Stiggins, 2002), per arrivare poi ad una valutazione 'come' apprendimento (Carless, 2015a; Zeng *et al.*, 2018).

L'idea di valutazione come atto conclusivo di un percorso di apprendimento, finalizzato esclusivamente alla verifica dei risultati, lascia il posto a una visione integrata della valutazione come processo che influenza e modifica il comportamento e la percezione dello studente e gioca un ruolo cruciale nel raggiungimento degli obiettivi dei processi educativi. La valutazione diviene pervasiva e continua, interessando tutte le fasi del percorso di apprendimento, dalla definizione degli obiettivi, alla formulazione del progetto, allo sviluppo del percorso di apprendimento, alle modalità di accertamento dei risultati raggiunti (Rossi *et al.*, 2021). Carless (2015b) definisce la valutazione orientata all'apprendimento, *Learning Oriented Assessment* (LOA), come una prospettiva di lavoro in cui tutti i processi di valutazione dovrebbero supportare il progresso dell'apprendimento dello studente. La LOA nasce dalla necessità di riequilibrare il peso eccessivo assunto dalla valutazione sommativa nella scuola e nell'università e mira a implementare pratiche di valutazione orientate all'apprendimento (Carless, Joughin, & Mok, 2006; Carless, 2015b). La valutazione come apprendimento è caratterizzata da tre elementi chiave: (1) compiti di valutazione orientati all'apprendimento; (2) sviluppo della competenza valutativa; (3) coinvolgimento degli studenti nei processi di feedback (Carless, 2015a, p. 965). Il passaggio a una prospettiva LOA richiede un percorso di formazione degli insegnanti volto a valorizzare e trasformare le pratiche quotidiane. La possibilità di trasformare le pratiche passa attraverso una profonda messa in discussione delle proprie modalità di lavoro e non si ferma alla proposta "teorica" di un nuovo approccio alla valutazione. I docenti devono portare alla luce pratiche consolidate e metodi di lavoro utilizzati in classe, spesso basati su abitudini e convinzioni, per confrontarsi e rivederli in profondità. Il fine è infatti quello di ripensare l'azione didattica e riprogettare percorsi e strumenti per bilanciare gli aspetti sommativi e formativi, promuovere la co-valutazione e l'autovalutazione degli studenti e introdurre diverse forme di feedback nei processi valutativi (Rossi *et al.*, 2021). Gli studenti, a loro volta, devono poter condividere il

processo valutativo con l'insegnante ed essere responsabili del loro apprendimento, monitorandolo e utilizzando feedback e strategie per apportare modifiche. Le competenze valutative e autovalutative diventano un obiettivo di apprendimento per gli studenti e vengono perseguite nei processi di costruzione di conoscenza adottati e progettati (Murai *et al.*, 2020). Risulta quindi fondamentale rendere trasparenti le aspettative degli studenti nei confronti del compito per dare loro un quadro di "come sono" che li aiuti a capire, attraverso l'autovalutazione, "come dovrebbero essere".

La ricerca su approcci e strumenti valutativi ha evidenziato la distinzione tra i tradizionali metodi di valutazione, come test e interrogazioni, e i compiti autentici. I primi si fondano sull'approccio stimolo-risposta di impronta comportamentista (Skinner, 1968; Bryant *et al.*, 2013) secondo cui gli alunni sono chiamati a conformarsi alle risposte o alle prestazioni attese dall'insegnante, il quale predispone gli stimoli (domande o richieste) e conosce risposte e criteri di validità. I compiti autentici, invece, si basano sull'approccio costruttivista (Duffy & Jonassen, 2013), secondo cui gli alunni producono conoscenza attraverso l'azione riflessiva in situazioni reali. Tali compiti coinvolgono gli studenti in attività stimolanti che richiedono la formulazione di risposte significative a problemi reali. Essi si basano dunque su problemi complessi e aperti che gli studenti affrontano per imparare a utilizzare le conoscenze, le abilità e le capacità personali in un contesto di vita reale, dimostrando così la competenza acquisita (Pellerey, 2004).

Valutare la competenza significa osservarla nel tempo e nel suo divenire come processo. Ogni percorso è aperto, stimolante e autentico e ha uno scopo formativo e valutativo. La rigida successione formazione-valutazione viene in tal modo eliminata: il processo di valutazione assume un valore formativo per lo studente grazie al significato che il processo riveste in sé e al feedback ricevuto (Gratani, 2021). Gli insegnanti dovrebbero quindi lavorare in modo iterativo su processi complessi poiché stimolano gli studenti a trovare soluzioni "semplistiche" (Berthoz, 2009), "mobilitando" modelli di azione e risorse personali. Ciò assume ancor più rilevanza in riferimento alle nuove modalità di lavoro basate sul fare, sul ruolo attivo dello studente e sul recupero della dimensione corporea e "incarnata" dell'apprendimento (Rossi, 2011).

Nello specifico, definiamo un compito come autentico (Rossi *et al.*, 2021) se:

- è legato a problemi reali e percepito dagli studenti come relativo al loro contesto, vicino alle loro esperienze;
- è sfidante, in quanto presenta una situazione problematica motivante che non può essere risolta eseguendo procedure standard, ma che richiede soluzioni divergenti;



- è aperto, in quanto offre diverse soluzioni, consentendo all'insegnante di "devolvere" (Brousseau, 1986) l'obiettivo di apprendimento e allo studente di assumersi la responsabilità e fare delle scelte.

Possiamo inoltre individuare uno schema di tripartizione di un compito autentico. Esso si compone di tre momenti principali (Tab. 11): (1) la situazione sfidante e generativa, (2) la consegna strutturata e (3) lo *scaffolding* (Rossi *et al.*, 2021).

Tab. 11 – Schema di tripartizione di un compito autentico.

Struttura	Senso
La situazione sfidante e generativa	Si tratta di una situazione possibilmente autentica, vicina al vissuto dello studente. Può accadere in modo naturale, può essere indotta o evidenziata dal docente.
La consegna strutturata dal docente	La consegna deve essere: - sufficientemente dettagliata per guidare lo studente; - sufficientemente libera per non suggerire soluzioni ma lasciare aperte strade possibili.
Lo scaffolding fornito dal docente (in presenza e/o a distanza)	Materiali e mediatori a supporto del processo di insegnamento-apprendimento. Non dovrebbe mancare una scheda metacognitiva e/o una rubrica per l'autovalutazione e la riflessione.

A fronte della rilevanza, ormai assodata, del lavorare per competenze, si riscontra spesso da parte degli insegnanti una difficoltà nella loro valutazione. Le abilità del XXI secolo, infatti, sono per definizione trasferibili a diversi contesti e sono visibili nei processi più che nei prodotti, e questo rende più difficile la loro misurazione. Il problema è, dunque, come operare per promuovere e monitorare tale dimensione (Giannandrea, 2022). Gli strumenti tradizionali di valutazione possono rivelarsi inefficaci e inadatti. Sono infatti necessari strumenti di supporto come: osservazioni sistematiche, autobiografie cognitive, diari di bordo, rubriche, dossier degli studenti, portfoli ed ePortfoli. Le rubriche appaiono come uno degli strumenti più promettenti, poiché permettono di integrare la valutazione e la formazione in linea con l'approccio alla valutazione delle competenze. Esse aiutano inoltre l'insegnante a mantenere l'obiettività e a guidare gli studenti indicando ciò che è importante nel processo e nel compito e comunicando i livelli di prestazione attesi. A loro volta, gli studenti conoscono le aspettative e comprendono più facilmente i punti di forza e di debolezza.

Da un'indagine condotta in occasione di due corsi di formazione sulla valutazione che hanno coinvolto 150 docenti di secondaria di primo grado e

90 di secondo grado su scala regionale<sup>73</sup>, abbiamo rilevato elementi critici comuni rispetto alla valutazione, quali: un numero esiguo di insegnanti che utilizza compiti autentici; un'eccessiva attenzione al voto da parte degli studenti; difficoltà nell'impostare percorsi di valutazione realmente formativi; difficoltà nell'essere obiettivi e nel condividere criteri e metodi di valutazione con famiglie, studenti e colleghi; difficoltà nel valutare le conoscenze disciplinari e le pratiche in modo integrato (Rossi *et al.*, 2021). Dall'interazione con i docenti sono quindi emersi importanti filoni di ricerca che includono, da un lato, la necessità di tenere insieme la valutazione dell'apprendimento e la certificazione delle competenze e, dall'altro, la possibilità di integrare la valutazione formativa e sommativa come risultato di un processo di *assessment as learning*.

A tal fine, molto interessante e all'avanguardia risulta il lavoro svolto dall'Università di Melbourne per supportare le scuole nella valutazione e nel riconoscimento di una serie di competenze complesse. Dal partenariato con scuole selezionate e lungimiranti è nata infatti l'iniziativa di ricerca collaborativa "*New Metrics for Success*<sup>74</sup>". Quest'ultima rappresenta un'opportunità di collaborazione tra dirigenti scolastici innovatori, esperti accademici e pionieri internazionali per reimmaginare la scuola in Australia e promuovere un cambiamento di paradigma attraverso lo sviluppo di nuovi parametri per valutare. La *New Metrics* ha dunque sviluppato dei kit di risorse<sup>75</sup> da utilizzare assieme alla piattaforma di valutazione dell'Università per valutare il livello di raggiungimento e di crescita di un allievo nelle aree di competenza. In merito al riconoscimento dello sviluppo delle competenze, gli studiosi suggeriscono tre principali strumenti, denominati "*The three Ps*" (portfoli, passaporti e profili), e presentano in un report (Milligan *et al.*, 2021) alcuni casi di studio relativi all'istruzione superiore che si stanno muovendo verso tale direzione. I casi selezionati rappresentano infatti dei tentativi di riformare la progettazione dell'apprendimento e della valutazione e le forme di riconoscimento per migliorare l'impegno e le capacità dei giovani. Tra questi, a scopo esemplificativo, citiamo la *Big Picture Learning Australia* (BPLA)<sup>76</sup>, un'organizzazione che lavora con scuole e sistemi scolastici in tutta l'Australia per fornire un design alternativo dell'apprendimento che coinvolga gli studenti attraverso un approccio

<sup>73</sup> Si fa riferimento ai percorsi formativi sulla valutazione a.s. 2019/20, previsti dal Piano Nazionale Formazione Docenti in servizio, indetti dall'Ufficio Scolastico Regionale delle Marche in collaborazione con l'Università degli Studi di Macerata e rivolti ai docenti della scuola secondaria di primo e secondo grado della regione.

<sup>74</sup> <https://education.unimelb.edu.au/new-metrics-for-success>.

<sup>75</sup> <https://education.unimelb.edu.au/new-metrics-for-success#resources>.

<sup>76</sup> <https://www.bigpicture.org.au/>.

personalizzato basato sui loro interessi. L'organizzazione ha progettato e implementato, in collaborazione con l'*Assessment Research Centre* dell'Università di Melbourne, un sistema di valutazione e riconoscimento per supportare il rilascio dell'*International Big Picture Learning Credential* (IBPLC). La IBPLC è una nuova forma di valutazione personalizzata volta a valutare e riconoscere le capacità, le esperienze e le qualità dei diplomati della scuola secondaria in modo più completo rispetto ai tradizionali sistemi di certificazione basati sugli esami. Lo scopo è infatti quello di riportare la "persona" al centro della valutazione formativa, aiutando lo studente a costruire un "passaporto" ricco e personalizzato delle proprie capacità, competenze e potenziali distintivi, utile per il suo futuro percorso scolastico e lavorativo. A differenza di altre forme di valutazione, non c'è alcuna volontà di classificare o valutare gli studenti l'uno rispetto all'altro. I loro risultati sono giudicati sulla base di dimostrazioni e osservazioni di prestazioni ed esperienze reali, svolte durante l'intero percorso scolastico, piuttosto che voti o risultati curriculari localizzati. Inoltre, la valutazione avviene rispetto a sei aree appositamente costruite e valutabili in base a cinque livelli: Saper imparare, Ragionamento empirico, Ragionamento quantitativo, Ragionamento sociale, Comunicazione e Qualità personali. I risultati ottenuti dagli studenti all'ultimo anno sono presentati in un Profilo dello Studente che rappresenta una "vetrina" di tali risultati, supportata da prove del suo lavoro raccolte in un portfolio interattivo online. Il Profilo dello studente è dunque progettato per riflettere la ricchezza delle esperienze reali, delle qualità personali e dei risultati accademici degli studenti. Nel primo anno di rilascio delle IBPLC (2020), oltre il 40% delle università australiane ha accettato di iscrivere gli studenti ai propri corsi di laurea sulla base della sola certificazione *Big Picture*. Attualmente, la IBPLC è stata accettata anche da alcune istituzioni universitarie selezionate al di fuori dell'Australia e, vista la sua versatilità, risulta applicabile ad un'ampia gamma di contesti culturali.

Modelli innovativi di pratica come quello presentato risultano orientati all'idea di valutazione diffusa, una valutazione che si serve di più tipologie di prove per analizzare differenti prospettive e favorire differenti posture, apprezzando il processo e non solo il prodotto (Wilson & Sloane, 2000). La valutazione diffusa può essere utilizzata per far emergere ed analizzare conoscenze, procedure e competenze sottese ad un compito aperto o per valutare longitudinalmente una competenza. Per far ciò, si richiedono varie tipologie di attività e prodotti (non solo elaborati scritti, ma anche prodotti multimediali, artefatti materiali, confronti orali tra pari, discussioni) che a loro volta attivano differenti processi da parte dello studente, cognitivi, affettivi, emotivi e senso-motori (Giannandrea, 2022).

## 5.2 Alcune proposte dalla letteratura

Sebbene si attribuiscono molteplici benefici all'educazione Maker, uno degli aspetti più ostici e dibattuti in merito alla sua implementazione nella fascia k-12 concerne la valutazione. Le tradizionali strategie di valutazione sommativa, infatti, non colgono o non valorizzano la natura aperta, collaborativa, interdisciplinare, iterativa e dinamica dell'apprendimento o dei progetti incentrati sul making. Tali metodi potrebbero dunque non essere i più adeguati a misurare alcune delle competenze di ordine superiore associate alla *Maker Education* (Lundberg & Rasmussend, 2018). L'educazione Maker varia notevolmente da un contesto all'altro e questo si riflette sulla valutazione. Alcuni educatori non valutano affatto le attività e i progetti orientati al making o si limitano ad assegnare un voto alle conoscenze di contenuto o alle tecniche sviluppate, focalizzandosi sui prodotti finiti. In tal modo, non si tiene conto del contesto e delle varie *soft skills* che costituiscono un risultato critico dell'educazione Maker, come l'*agency*, il problem-solving, la collaborazione e la creatività. L'attenzione a tali competenze non vuole escludere o far passare in secondo piano conoscenze o comprensione concettuale, ma piuttosto mira ad integrarle come strumento utile per verificare la comprensione e l'applicazione della conoscenza dei contenuti.

Nella loro scoping review, Menichetti e Micheletta (2021) citano la valutazione come una delle maggiori criticità riscontrate, in quando circa il 60% dei contributi esaminati non accenna al tema della valutazione dei risultati, oppure fa riferimento solo ad un'indagine di gradimento. Nel 23% dei casi si raccolgono le percezioni di insegnanti e studenti e soltanto nel 17% dei casi si procede con una valutazione di risultato, che mostra poi esiti positivi. Sono ancora pochi però gli studi sperimentali nel settore.

Han (2019) riporta due correnti di ricerca emergenti che pongono maggiore enfasi sul processo di apprendimento nel making: la prima si concentra sulla promozione di una valutazione di alta qualità tramite portfolio, mentre l'altra sullo sviluppo di tecniche di valutazione integrate o *embedded* nei makerspace.

L'indagine di Pepler, Keune, Xia e Chang (2018) evidenzia che nei makerspace scolastici i tipi di valutazione più frequenti sono l'autovalutazione (65%), le rubriche (60%) e il portfolio (55%). Quest'ultima tipologia risulterebbe però ostacolata principalmente dalla mancanza di attenzione alla documentazione del processo di creazione rispetto ai risultati delle attività.

Vari progetti di ricerca hanno dunque esaminato, o esaminano tuttora, gli aspetti da considerare quando si parla di valutazione dell'apprendimento nei

contesti maker, al fine di individuare strumenti e dispositivi per rispondere alle limitazioni esistenti. Fra questi, è utile citare il progetto “*Beyond Rubrics: Moving Towards Embedded Assessment in Maker Education*”<sup>77</sup>, condotto tra il 2017 e il 2019 dal *Teaching Systems Lab* del MIT in collaborazione con la *Maker Ed*, per indagare e co-progettare strumenti e strategie di *embedded assessment* per gli ambienti di apprendimento maker a scuola. L'*embedded assessment* è una forma di valutazione direttamente inserita nell'ambiente di apprendimento e nelle attività, cosicché le prove degli studenti possano essere monitorate e raccolte in tempo reale senza limitare o interrompere il flusso di apprendimento ricco, complesso e iterativo che si verifica nella *Maker Education* (Shute *et al.*, 2009; Wilson & Sloane, 2000). La valutazione integrata è ampiamente adottata negli ambienti di apprendimento digitali, come le simulazioni e i videogiochi, poiché consente di monitorare in tempo reale l'apprendimento. Con valutazioni *embedded* ben progettate, le azioni degli studenti forniscono prove solide per apprezzare le competenze sottostanti e la distinzione tra valutazione e apprendimento diviene sfumata. La valutazione è infatti concepita come continua, basata sulla performance multidimensionale, flessibile, ludica ed *embedded*. Gli strumenti dovrebbero consentire agli studenti di autovalutarsi e riflettere sul proprio lavoro in più momenti e considerare processi e prodotti del makerspace come artefatti da valutare. In tal modo, valutazione formativa e sommativa vanno di pari passo; la somma di molte valutazioni formative, che catturano momenti diversi nel tempo, può e deve raccontare la crescita dell'allievo. Gli studiosi, sulla base della letteratura e delle interviste con gli insegnanti delle due scuole secondarie partner del progetto, definiscono quattro principi di progettazione per guidare la concezione iniziale degli strumenti di valutazione integrata del making (Murai *et al.*, 2019; Murai *et al.*, 2020). Tale valutazione dovrebbe:

1. essere orientata al costruito e iniziare chiarendo i risultati che l'attività intende promuovere;
2. coinvolgere gli studenti come partecipanti attivi nel processo di valutazione;
3. essere centrata sull'evidenza, generando forme visibili, tangibili e diversificate di prove per i costrutti sottostanti;
4. essere perfettamente integrata nella cultura della classe e dell'ambiente di apprendimento.

In particolare, in merito al secondo principio, gli autori sottolineano diverse condizioni necessarie al pieno coinvolgimento degli studenti, tra cui: costruire una comprensione condivisa di quanto valutato (condividere il

<sup>77</sup> <https://makered.org/beyondrubrics/overview/>.

modo in cui si intende il costruito e concordare su come potrebbe apparire nel contesto di classe); consentire agli studenti di apprendere la valutazione e di praticarla prima di iniziare a valutare le proprie prestazioni di apprendimento in un contesto reale (le abilità connesse alla valutazione non sono universalmente condivise tra gli studenti); rendere la progettazione della valutazione invitante e accessibile agli studenti affinché possano partecipare apertamente e sinceramente al processo (linguaggio semplice e familiare e attività coinvolgenti). Tali condizioni aiuterebbero non solo gli insegnanti, ma anche gli studenti stessi a costruire una comprensione più profonda delle esperienze di apprendimento che stanno svolgendo. In aggiunta, gli autori individuano sette costrutti, identificati come fondamentali per sviluppare una forte mentalità maker, da loro definiti *Maker Elements*: (1) *agency*; (2) processo di progettazione; (3) scaffolding sociale; (4) assunzione di rischi produttiva; (5) risoluzione dei problemi; (6) collegamento delle conoscenze; (7) conoscenza dei contenuti.

A partire da tali principi ed elementi, i ricercatori hanno quindi sviluppato un *toolkit*<sup>78</sup> intenzionalmente creato per essere *low-tech* e integrabile in una varietà di ambienti di apprendimento. Lo scopo è quello di riconoscere e misurare le competenze che gli studenti costruiscono negli spazi maker, fornendo modi strutturati per catturare i momenti di apprendimento durante il processo di creazione (e non solo a posteriori) e aiutando gli studenti stessi a documentare le competenze che potrebbero non essere evidenti nel prodotto finale (Rosenheck *et al.*, 2021). Il kit è suddiviso in tre categorie progressive di strumenti, connesse a:

1. contesto di riferimento: offrono agli educatori e agli studenti l'opportunità di costruire una comprensione comune dei costrutti di apprendimento, di partecipare pienamente al processo di valutazione e di raccogliere prove ricche che supportino l'apprendimento e l'insegnamento in generale;
2. raccolta di evidenze: destinati alla raccolta di prove e dati, sia quantitativi che qualitativi, e progettati per la valutazione autonoma, tra pari e guidata dagli insegnanti. Questi strumenti aiutano a rendere più visibili e tangibili molti aspetti dell'apprendimento;
3. interpretazione e comunicazione delle prove: supportano l'organizzazione, la cura e l'analisi delle prove raccolte nel tempo. Insegnanti e studenti interpretano i dati e riflettono sull'apprendimento visibile che si è verificato.

La ricerca di Rosenheck e colleghi (2021) si colloca nello spazio tra le fasi di raccolta e interpretazione delle prove e analizza un corpus di prove

<sup>78</sup> Una descrizione dettagliata degli strumenti è disponibile sul sito: <https://makered.org/beyondrubrics/toolkit/#tools>.

generato da studenti che utilizzano il *toolkit* “*Beyond Rubrics*”. L’obiettivo è quello di identificare le qualità che dovrebbero essere rintracciabili nelle prove affinché esse siano valide per valutare l’apprendimento degli studenti nel contesto maker. Gli autori riportano sei qualità:

1. allineamento: gli artefatti collegano chiaramente l’azione o la riflessione a uno dei costrutti target, dimostrando che lo studente ha compreso l’elemento e il significato di quest’ultimo nel suo lavoro;
2. azione: gli artefatti si riferiscono ad azioni specifiche compiute dallo studente o raccontano un frammento di storia concreta su ciò che è accaduto;
3. specificità: gli artefatti includono una descrizione dettagliata dell’azione o forniscono un contesto per la riflessione, piuttosto che un pensiero generalizzato che non risulta fondato sul progetto;
4. articolazione: gli artefatti spiegano chiaramente una situazione, un pensiero o una riflessione, senza lasciare spazio a difficoltà di interpretazione per il lettore;
5. astrazione: gli artefatti trasmettono riflessioni profonde su concetti ed esperienze intangibili o generalizzati;
6. coerenza: un insieme di artefatti triangolati da diversi strumenti, progetti o sessioni trasmette la stessa intuizione, o fornisce intuizioni che hanno senso insieme, creando un messaggio più forte di quello veicolato dagli artefatti di un solo strumento o di una sola sessione.

Gli autori chiariscono che lo scopo non è quello di verificare che ogni artefatto abbia tutte e sei le qualità, quanto piuttosto di consentire agli educatori di rilevare punti di forza e di debolezza di un insieme di prove e interrogarsi sul perché una certa qualità risulti carente e su come aiutare gli studenti a migliorare la riflessione e la messa in pratica dell’elemento maker. Con un corpus di prove ben bilanciato contenente un certo numero di qualità, tra cui la coerenza, si può infatti ottenere una visione dell’apprendimento incentrato sullo studente. In tal modo, l’insieme delle qualità può essere direttamente collegato alla costruzione delle competenze e alla dimostrazione delle abilità chiave. Gli autori sottolineano inoltre la rilevanza del processo riflessivo e autovalutativo. Il *toolkit* si basa sulla capacità degli studenti di riflettere sulla propria esperienza, necessaria a generare prove di apprendimento e a produrre inferenze su quanto appreso. Insieme alla riflessione, anche la pratica dell’autovalutazione è altrettanto indispensabile poiché pone gli studenti in un ruolo attivo, offrendo loro una maggiore autonomia e mettendoli in condizione di decidere cosa e come imparare (Gehring, 2017). Gli studenti dovrebbero essere in grado di riconoscere i propri punti di forza e di debolezza o di caratterizzare il proprio lavoro in modo accurato nel contesto della disciplina (Panadero *et al.*, 2016). Tale

competenza autovalutativa può essere sviluppata e migliorata nel tempo (Van Zundert, Sluijsmans, & Van Merriënboer, 2010).

Anche Lundberg e Rasmussend (2018), a partire da una revisione della letteratura, suggeriscono principi e pratiche da considerare quando si progetta un piano di valutazione delle esperienze maker. Gli otto principi fondamentali sono:

1. insegnare un ciclo di progettazione: gli studenti devono avere una conoscenza di base di un processo di progettazione ingegneristica. Il ciclo di progettazione scelto deve essere semplice, chiaro e memorabile al fine di suggerire la natura iterativa e progressiva del lavoro da svolgere e la mentalità *tinkering* che ne consegue;
2. concentrarsi sul processo piuttosto che sul prodotto: occorre focalizzarsi sul processo che permette agli studenti di arrivare al prodotto finale;
3. coinvolgere gli studenti nella risoluzione di problemi del mondo reale: il raggiungimento di alti livelli di impegno e la comprensione profonda dei contenuti richiedono il coinvolgimento degli studenti nella risoluzione di problemi significativi, integrati nelle loro lezioni quotidiane;
4. garantire la libertà degli insegnanti: amministratori e dirigenti scolastici devono incoraggiare l'innovazione e fornire libertà agli insegnanti (Fleming, 2015);
5. incoraggiare gli insegnanti ad abbracciare il processo di apprendimento iterativo: apprendimento e innovazioni richiedono vari tentativi, fallimenti e iterazioni (Kurti, Kurti, & Fleming, 2014b).
6. incoraggiare gli insegnanti a riconsiderare il loro ruolo tradizionale in classe: anziché portatori di conoscenza, gli insegnanti potrebbero considerarsi etnografi, documentaristi, gestori dello studio, assicurandosi che tutte le risorse necessarie siano disponibili, organizzate e incoraggianti e ponendo domande che conducano ad ulteriori indagini e alla soluzione dei problemi (Martinez & Stager, 2013). Gli insegnanti dovrebbero inoltre essere aperti e reattivi a prospettive nuove e diverse;
7. fornire una scelta agli studenti: la scelta dello studente è un tema comune alle migliori pratiche educative maker. Gli interessi e le passioni degli studenti sono importanti nella progettazione dello spazio, degli strumenti e dei tipi di progetti selezionati (Agency By Design, 2015; Halverson & Sheridan, 2014; Martinez & Stager, 2013). La possibilità di scelta incoraggia l'aumento dell'autostima e dell'autoefficacia degli studenti, riconosciuto come uno degli obiettivi principali della *Maker Education* (Kurti, Kurti, & Fleming, 2014b);
8. creare un ambiente che comprenda e valorizzi il gioco: è necessario considerare quanto tempo hanno a disposizione gli studenti durante la giornata per attività esplorative e aperte che assomiglino al gioco. Il gioco



e il tempo non strutturato sono in costante diminuzione da oltre 60 anni e la mancanza di tempo per l'esplorazione e la scoperta risulterebbe collegata a problemi di sviluppo emotivo e sociale che, a loro volta, rendono estremamente difficoltoso lo sviluppo di abilità di pensiero di alto livello (Derhally, 2016).

Gli autori suggeriscono inoltre cinque pratiche utili per valutare l'efficacia della *Maker Education*:

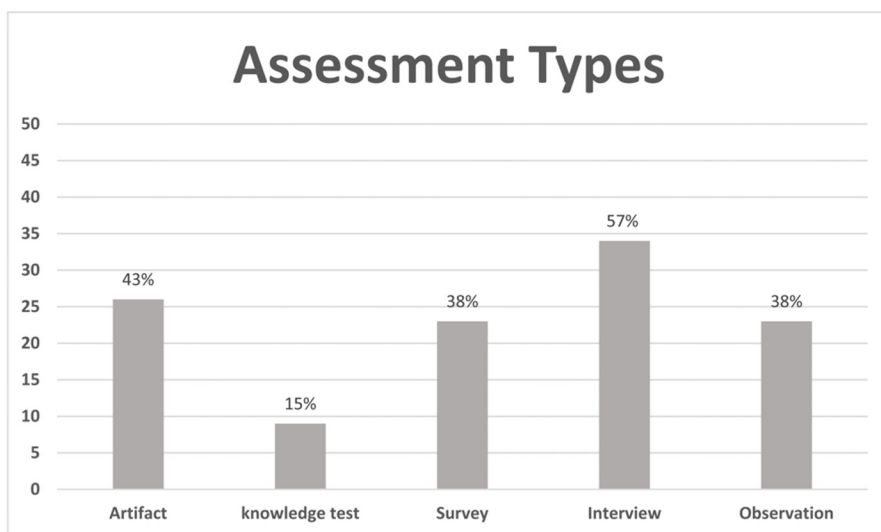
1. il prompt: una valutazione efficace dell'apprendimento richiede un prompt iniziale dell'insegnante che stabilisce una direzione e fornisce gli obiettivi di base. Per valutare le competenze del XXI secolo, il prompt deve essere abbastanza chiaro da fornire una direzione, ma allo stesso tempo sufficientemente aperto da consentire la creatività e il pensiero critico;
2. la rubrica: il secondo componente di una valutazione efficace è una rubrica o una *check-list*. Secondo gli autori la rubrica può avere due scopi principali. In primo luogo, consente di chiarire cosa gli studenti devono sapere ed essere in grado di fare alla fine del progetto. In secondo luogo, fornisce una struttura di base che aiuta gli studenti a conoscere e sperimentare un processo iterativo di *design thinking*. Yokana (2015), sostenitore della valutazione basata su rubriche nella formazione dei maker, suggerisce una struttura tripartita della rubrica in processo, comprensione e prodotto, che offre agli insegnanti l'opportunità di presentare chiaramente i diversi tipi di obiettivi. Le rubriche possono inoltre rivelarsi preziosi strumenti di apprendimento se usati per la valutazione tra pari e per l'autovalutazione;
3. la riflessione: è un potente strumento di autovalutazione che gli insegnanti possono utilizzare al posto del tradizionale test di fine unità per ottenere indicazioni sia sugli obiettivi concettuali che procedurali del progetto. Le riflessioni dovrebbero sempre includere domande sul processo di pensiero e sull'interazione di gruppo e i docenti dovrebbero supportare gli studenti nell'articolazione del loro pensiero;
4. lo sviluppo del portfolio: valutare il portfolio degli studenti risulta particolarmente funzionale ad un approccio orientato più al processo che al prodotto. La documentazione fornisce una finestra sul processo creativo utilizzato per sviluppare il prodotto finale. Il portfolio permette agli studenti di documentare il loro pensiero, di contestualizzare gli artefatti prodotti e di fornire prove della loro crescita (Chang *et al.*, 2015);
5. *badge* digitali: possono servire a organizzare, comunicare e mostrare i risultati e i progressi ottenuti, nonché a fornire un riconoscimento per un'abilità appresa o un compito svolto. Gli insegnanti possono servirsi

anche di piattaforme come *Edmodo* o *Class Badge* per creare e assegnare i *badge* agli account degli studenti.

Infine, l'accurata revisione letteraria di Lin e colleghi (2020) pone in luce dati interessanti in merito ai risultati di apprendimento maggiormente indagati nei contesti maker e ai tipi di valutazione utilizzati. L'analisi è stata condotta su 60 studi selezionati relativi a makerspace in ambienti formali e informali. I ricercatori classificano i risultati di apprendimento indagati dagli studi in tre categorie: (1) cognitivi - comprensione e costruzione della conoscenza dei contenuti (*STEM-related content knowledge; programming knowledge; skills and competence*); (2) affettivi - sentimenti e atteggiamenti che vengono promossi nel processo di making (*confidence, attitude, feeling and perceptions*); (3) altri - includono principalmente l'impegno e la collaborazione (*engagement, collaboration*). La maggioranza degli studi esaminati ha rilevato aspetti cognitivi connessi alla conoscenza delle STEM (47%) o della programmazione (33%) e aspetti affettivi legati a sentimenti e percezioni (32%). In generale, 11 studi hanno misurato tutte e tre le categorie di risultati, mentre i restanti si sono focalizzati su una o due tipologie. Per quanto concerne le tipologie di valutazione frequentemente implementate nelle attività maker (vedi Fig. 7), esse vengono classificate in:

- valutazione degli artefatti: il 70% degli studi indagati prevedeva che gli studenti costruissero degli artefatti. Tuttavia, solo il 43% di essi ha valutato gli artefatti finali per trarne i risultati di apprendimento. Gli studi che hanno effettuato la valutazione sono ricorsi allo sviluppo di *framework* di codifica, rubriche o portfoli per comprendere l'apprendimento degli studenti. Il portfolio proposto da Lui, Fields e Kafai (2019) chiedeva agli studenti di compilare tre sezioni relative all'artefatto: (1) la documentazione del progetto finale; (2) la discussione del processo di realizzazione; (3) la riflessione sull'apprendimento durante l'unità. Tuttavia, negli studi esaminati mancano linee guida generali per la valutazione degli artefatti e pochissimi studi utilizzano rubriche analitiche;
- test: i test sono stati utilizzati dal 15% degli studi esaminati. Il contenuto dei test era sia cognitivo che non cognitivo, a seconda dei settori disciplinari coinvolti nelle attività maker. Tra questi, prevalgono la conoscenza dei contenuti STEM e dei concetti di programmazione, ma i test sono stati utilizzati anche per misurare costrutti come la creatività e l'abilità spaziale. Questo metodo di valutazione tradizionale può rivelarsi utile come test di ingresso e di uscita per indagare conoscenze preliminari e acquisite degli studenti;
- sondaggi: il 38% degli studi ha utilizzato sondaggi con item che misuravano non solo le prestazioni nelle attività dei maker, ma anche le disposizioni verso il making e i campi STEM;

- interviste: le interviste sono state ampiamente utilizzate in più della metà degli studi (57%), variando tra interviste pre-post, informali, semi-strutturate e trascritte. Le interviste si rivelano uno strumento utile poiché consentono di catturare i dettagli delle prestazioni che vengono facilmente omessi nei test tradizionali. Il loro svantaggio risiede nella quantità di lavoro e tempo richiesta dal processo di analisi dei dati. Integrate con altri metodi di valutazione, le interviste possono essere utilizzate per approfondire la comprensione dei risultati dell'apprendimento;
- osservazione: più di un terzo (38%) degli studi esaminati ha utilizzato l'osservazione come misura qualitativa. Attraverso le note sul campo, i ricercatori hanno analizzato il fenomeno osservato e dedotto ciò che gli studenti hanno imparato nel processo di creazione;
- combinazione di strumenti di valutazione: considerata la varietà di risultati di apprendimento generabili nelle attività maker, molti studi hanno combinato più strumenti di valutazione. Analogamente al test di conoscenza, l'osservazione è stata combinata con altri strumenti di valutazione, in particolare con la valutazione degli artefatti (20%), fornendo prove dettagliate su come l'apprendimento si è riflesso nel prodotto finale.



*Fig. 7 – Tipi di valutazione.*

*Fonte: Lin et al., 2020, p. 8.*

*Nota:* Alcuni studi hanno utilizzato più di un tipo di strumento di valutazione, per cui la percentuale totale è superiore al 100%.

A fronte della revisione condotta, gli autori sostengono che i risultati di apprendimento valutati nelle attività maker dovrebbero comprendere anche campi non legati alle STEM (come l'arte e il design) e aspetti non cognitivi (come le componenti affettive e le abilità sociali). Inoltre, la rilevazione dei diversi risultati di apprendimento necessita di valutazioni di varia natura, utili a fornire feedback a studenti ed educatori, migliorare la progettazione e l'implementazione delle attività e perfezionare i programmi. Pertanto, in linea con i risultati di Murai e colleghi (2019), gli strumenti di valutazione si rivelano preziosi se efficacemente integrati nell'educazione Maker e dunque volti ad apprezzare processi, oltre che prodotti, e a stimolare riflessione e autovalutazione sul lavoro svolto.



## Conclusioni

Gli alunni oggi sono continuamente impegnati in attività di creazione di significato attraverso le quali interpretano, comprendono e danno un senso al mondo che li circonda (Ranieri, 2021). Tali chiavi interpretative riflettono la complessità del contesto attuale e inducono a interrogarci sulle implicazioni etiche, oltre che cognitive, derivanti dai processi creativi.

La società odierna sta cambiando a un ritmo incalzante; dieci anni fa Intelligenza Artificiale e *data science* erano agli albori, molte professioni non esistevano e molti problemi non interessavano ancora i nostri Paesi. Il cambiamento sociale in atto e le varie problematiche globali come il cambiamento climatico, il razzismo e la disuguaglianza economica interessano sempre più da vicino i giovani. Questi ultimi sono ormai (inter-) connessi a tutto e avvertono un senso di urgenza e responsabilità verso tali problematiche ambientali e sociali che li coinvolgono in prima persona. Tuttavia, questa urgenza non trova sempre riscontro e sostegno nel contesto scolastico. Spesso gli studenti non percepiscono il senso o la spendibilità di quanto studiano e apprendono, soprattutto in relazione al loro contesto di vita e a un futuro prossimo. Al fine di ridurre il già citato “scollamento” tra “cosa” e “come/perché” apprendere (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022), risulta dunque essenziale democratizzare la possibilità di impegnarsi in tali sfide (Blikstein, 2021, assicurandoci che i contenuti insegnati a scuola siano connessi anche problemi e contesti reali, centrali per la vita e i conflitti in atto. Dovremmo progettare spazi di apprendimento, kit di strumenti, attività e linee guida che siano flessibili e che supportino diversi tipi di apprendimento, in particolare quello basato su progetti. Ciò richiede nuovi contenuti e pedagogie al fine rendere le scuole pubbliche un luogo volto a promuovere il cambiamento sociale (Blikstein, 2021).

Le dinamiche di making, tinkering e hacking si fondano su principi di apertura (libera circolazione di idee a accesso aperto), approccio critico e *problem-based* (identificare problemi e sollevare domande per risolverli e far avanzare conoscenza) e condivisione (proprietà intellettuale condivisa all'interno della comunità) (Himanen, 2001; Ranieri, 2021); ciò implica una

costruzione collaborativa di nuove soluzioni, in cui più intelligenze possono intervenire, manipolare i linguaggi di programmazione e collaborare per risolvere problemi comuni. La natura distribuita e interconnessa della creatività e il ruolo che le tecnologie svolgono nel sostenerla o nell'inibirli suggeriscono l'utilità di utilizzare una cornice che evidenzia le possibili sinergie tra creatività, tecnologia e educazione (Henriksen, Mishra, & Torrejon Capurro, 2022).

Come si evince dall'analisi delle ricadute degli esempi di pratiche e del progetto di ricerca descritti, molti dei vantaggi educativi ricondotti all'approccio Maker hanno trovato riscontro in tali esperienze.

Gli spazi maker possono rivelarsi ambienti di apprendimento generativi di competenze, di nuove modalità di inclusione e di opportunità di innovazione scolastica (Repetto, 2020). I makerspace risultano infatti "orientati al futuro" e agli interessi degli alunni, supportando la creazione per tentativi/errori e incoraggiando la collaborazione tra pari.

Le attività maker promuovono un raccordo tra le due dimensioni logico-razionale e creativa (Menichetti & Micheletta, 2021) e coinvolgono autenticamente gli studenti in quello che Blackley e Howell (2019) definiscono apprendimento *head-heart-hands*: testa - richieste cognitive e impegno intellettuale; cuore - impegno entusiasta e sviluppo di abilità interpersonali; mani - abilità motorie fini e ragionamento spaziale. A tal proposito, Vossoughi, Hooper e Escudé (2016) sostengono che lavorare con la tecnologia nei *makerspace* possa generare nuovi modi di pensare alle idee disciplinari e quindi promuovere un pluralismo epistemologico. Gli autori richiamano il pensiero di Turkle e Papert (1992) che, già agli inizi degli anni Novanta, riconoscevano il potenziale della programmazione nel fornire un contesto per lo sviluppo del pensiero concreto, a supporto del pluralismo epistemologico. Da un lato, infatti, la programmazione di un oggetto necessita di regole formali, legate alla matematica pura, ma al contempo offre visibilità e tangibilità, veicolando un senso di manipolazione diretta. In tal modo, la programmazione, alla portata di tutti, diviene una «lente attraverso cui osservare gli stili personali» di risoluzione dei problemi logici e il computer, come «vettore di idee pluralistiche», diviene un promettente catalizzatore del cambiamento, non solo all'interno della computazione, ma anche nella nostra cultura in generale (Turkle & Papert, 1992, p. 162). Queste affermazioni risultano estremamente attuali, sollecitando una riflessione sull'emergente binomio programmazione-creazione e quindi computazionale-creativo. Le attività di making e RE, infatti, se da un lato richiedono l'acquisizione di abilità computazionali, necessarie per comprendere il linguaggio della macchina e interfacciarsi con essa, al tempo stesso stimolano e non possono prescindere da quelle creative, legate al

pensiero critico, intuitivo e artistico del soggetto, utili a personalizzare e a rendere “proprio” l’artefatto. Sul legame imprescindibile delle une alle altre si fonda dunque la peculiarità e la fecondità dell’approccio Maker.

Nel progetto pilota presentato, la tecnologia si è rivelata un prezioso strumento per l’apprendimento di molti concetti, come le energie rinnovabili, i sistemi del corpo umano o gli stati della materia, ma soprattutto ha permesso agli studenti di lavorare sulla loro creatività e sulla capacità di progettare, costruire, collaborare e rivedere. Gli alunni hanno così operato come designer, architetti e ingegneri, costruendo diverse competenze fondamentali per i cittadini e i professionisti del futuro. Inoltre, il collegamento diretto con problemi reali e la possibilità di ipotizzare, anticipare possibili scenari, testare e riformulare hanno fornito un forte stimolo per le competenze di problem-solving e problem-posing (Garavaglia *et al.*, 2018) e la costruzione di nuovi significati. Le sfide proposte hanno evidenziato anche il potenziale che i kit LEGO possono esercitare sull’apprendimento di concetti più o meno complessi legati alle scienze e alla fisica. Come dimostrano Castledine e Chalmers (2011) nel loro studio, le attività di RE aiutano gli studenti a riflettere sulle decisioni di problem-solving e, con un attento scaffolding da parte dell’insegnante, gli studenti possono mettere in relazione queste strategie con i contesti del mondo reale e sperimentare un autentico problem-solving. Di conseguenza, quanto meglio lo studente percepisce l’intero quadro in connessione con altri contesti o con il mondo circostante, tanto più egli è in grado di comprendere a fondo il contenuto da insegnare o da apprendere (Karppinen, Kallunki, & Komulainen, 2019). Gli educatori possono dunque promuovere attività *STEM-Rich Making* per sviluppare o valutare in un’ottica formativa la comprensione concettuale degli studenti, coinvolgendoli nell’applicazione di tali conoscenze attraverso il design e l’ingegneria (Bevan, 2017).

Richiamando la teoria della semplicità di Berthoz (2009), le peculiarità delle tecnologie e la strutturazione delle attività hanno facilitato l’applicazione dei tre fondamentali principi di modularità, ridondanza e deviazione. Prendendo in esame la modularità, il progetto risulta fortemente orientato a dinamiche di *microlearning*. Ogni attività, pur configurandosi come un modulo a sé stante orientato ad uno specifico obiettivo dell’Agenda 2030, si è rivelata al tempo stesso funzionale allo sviluppo del tema e dei numerosi contenuti disciplinari interconnessi, in maniera più o meno esplicita. Inoltre, adottando una prospettiva macro, i micro-moduli risultavano coerenti e connessi tra loro in un programma reticolare in grado di promuovere continui richiami ricorsivi. Così facendo, è stato possibile superare il vincolo della linearità e della rigida successione dei programmi scolastici a favore di una progettazione orientata alla flessibilità, alla



modularità e alla ricorsività. Tale strutturazione, a sua volta, ha facilitato anche il ricorso agli altri due principi della semplicità citati. Infatti, nel predisporre le varie sfide utili ad affrontare l'obiettivo, i docenti hanno contemporaneamente attivato molteplici canali comunicativi e "strade" per veicolare le medesime conoscenze disciplinari e sviluppare abilità e competenze, favorendo così la differenziazione degli stili cognitivi dei discenti e la ridondanza (Sibilio, 2015). Basti pensare alle sfide basate sulla RE tramite kit LEGO, *Scratch 3.0* e relative app di programmazione o sulla modellazione 3D tramite software *TinkerCAD* in cui gli alunni hanno implicitamente sviluppato e mobilitato conoscenze e procedure legate alla matematica (costruzione di codici, posizionamento su sistema di riferimento cartesiano), alla geometria (proprietà dei solidi, intersezioni, rotazioni, allineamenti e simmetrie) o alla fisica (misurazione delle variabili connesse ai sensori o motori dei kit come forza, velocità, potenza, distanza e inclinazione). O ancora, la conoscenza dell'elettricità e dei circuiti richiesta per le sfide basate sull'energia rinnovabile o sulla creazione di giochi quesito-risposta stile "Sapientino" tramite il kit *Makey Makey* o per mezzo di LED, nastro di rame adesivo e batterie piatte. In aggiunta, anche le attività basate sulla VR con la web app *Thinglink*, il software *CoSpaces Edu* e i visori *ClassVR* hanno consentito di veicolare numerosi aspetti disciplinari connessi alle scienze, all'educazione civica e alla geografia. Le tecnologie adottate e la struttura stessa del percorso hanno infine fornito supporto per eventuali deviazioni rispetto al percorso originariamente elaborato. L'organizzazione flessibile e modulare della didattica e l'utilizzo di strategie metacognitive e di attività di tipo laboratoriale si sono dimostrati efficaci per offrire strade alternative e diversificate (Sibilio, 2015), nonché rimodulazioni del percorso stesso a fronte di feedback derivanti dalla pratica e dalle riflessioni di docenti e alunni. I diari di bordo degli studenti e il focus group hanno consentito una revisione della progettazione, a cominciare da tempi, strumenti e, in alcuni casi, obiettivi. Nella seconda parte abbiamo dunque previsto spesso delle strade diversificate, in termini di tecnologie e obiettivi, tra alunni di primaria e secondaria o per alunni con particolari difficoltà, al fine di risolvere situazioni problematiche e favorire il processo di apprendimento-adattamento (Sibilio, 2015).

Le pratiche valutative adottate sono risultate coerenti a quelle suggerite da Lundberg e Rasmussend (2018) per valutare l'efficacia della *Maker Education*. È stato infatti fornito un prompt iniziale volto a chiarire la direzione e gli obiettivi del progetto (pur garantendo una sufficientemente apertura); abbiamo co-progettato una rubrica per rendere gli studenti consapevoli delle aree di indagine e favorire un allineamento tra il processo valutativo e quello autovalutativo; abbiamo stimolato la riflessione come

potente strumento di autovalutazione per ottenere indicazioni sugli obiettivi concettuali e procedurali del progetto; abbiamo previsto lo sviluppo del diario di bordo per promuovere un approccio orientato più al processo che al prodotto, ottenendo una “finestra” sul processo creativo messo in atto, e per consentire agli studenti di documentare il loro pensiero, contestualizzando gli artefatti realizzati e raccogliendo prove della loro crescita. Inoltre, la varietà di strumenti ha favorito la raccolta di più tipologie di dati ricollegabili alle tre categorie descritte da Lin e colleghi (2020).

L'impatto su autoefficacia e *self-confidence* degli studenti può ricondursi primariamente alla possibilità di assumere il ruolo di agenti attivi, in grado di stabilire cosa assuma valore nell'ambito dei loro progetti e di sentirsi liberi di incorporare i propri repertori di pratica. A questa agentività, Bevan (2017, p. 13) riconduce la posizione *transformative activist*<sup>79</sup> che concepisce l'apprendimento come un progetto attivista e lo sviluppo individuale come frutto di sforzi agentivi, volti a realizzare un cambiamento in se stessi, nella propria comunità sociale e nel proprio mondo (Vianna & Stetsenko, 2014). Una posizione attivista trasformativa pone l'accento sul contesto e sugli scopi immediati del discente, sugli strumenti e le risorse culturali a sua disposizione e sulle strutture di potere sociali o organizzative che sostengono o inibiscono l'*agency* individuale. In tal senso, pedagogie creative e agentive, come lo *STEM-Rich Making* si configurano come contesti potenti per l'apprendimento, lo sviluppo (Bevan, 2017) e l'inclusione. I makerspace vanno infatti a supportare la creazione di un'identità nelle STEM, la partecipazione e l'*empowerment* di coloro che la cultura diffusa pone ai margini e la disgregazione degli stereotipi di settore che passano attraverso le narrazioni (verbali o visive) e si consolidano fin dalla più tenera età (Menichetti & Micheletta, 2021).

Le potenzialità delle attività maker appaiono tuttavia ancora non pienamente sfruttate. L'attuazione pratica in ambito scolastico e educativo si scontra infatti con alcune problematiche che possono costituire un limite all'efficacia e all'adeguata implementazione. Coerentemente con quanto riportato da Geser e colleghi (2019), implementare percorsi di questo tipo richiede di riflettere su alcune possibili criticità da affrontare con misure mirate. Tra queste evidenziamo le sfide derivanti dalla mancanza di

<sup>79</sup> La *transformative activist stance* (TAS), sviluppata da Stetsenko (2009) sulla base dell'approccio di Vygotskij, propone una rivalutazione degli assunti di base sui modi di essere, di fare e di conoscere degli esseri umani orientata all'azione sociale e all'*agency* in vista di una trasformazione sociale. Al centro di questa posizione c'è infatti il passaggio dall'etica dell'adattamento all'idea che la trasformazione deliberata, mirata e propositiva del mondo, basata sull'impegno e sulla visione del cambiamento sociale, sia il fondamento dello sviluppo umano in tutte le sue espressioni che comprendono i processi di essere, fare e conoscere.

makerspace consolidati, e quindi di spazi adeguatamente attrezzati, specialmente nelle aree rurali o in paesi sottosviluppati, la rigidità dei programmi curricolari e altri vincoli strutturali e organizzativi, la scarsa formazione tecnica e metodologica dei docenti, con conseguente resistenza al rinnovamento delle pratiche, le esigenze speciali degli alunni con disabilità e la tendenza ad assumere stereotipi legati al genere.

Per aspirare a una effettiva equità educativa, è necessario improntare la progettazione pedagogica e la pratica educativa Maker sulle peculiarità degli studenti e delle comunità cui essi appartengono. Occorre dunque evitare l'adozione acritica e non pedagogicamente fondata di questo approccio, che potrebbe addirittura acuire disuguaglianze e discriminazioni, e la progettazione di percorsi troppo rigidi e predefiniti focalizzati su attività tecnocentriche (Bevan, 2017; Godhe, Lilja, & Selwyn, 2019; Repetto, 2020). In sintesi, il ripensamento delle attività dovrebbe riflettersi su modifiche strutturali e iniziative da improntare su ampia scala, come quelle relative allo sviluppo professionale di docenti e educatori e all'aumento degli investimenti pubblici nell'istruzione e nel terzo settore (Repetto, 2020). A tal fine, Vossoughi, Hooper e Escudé (2016) propongono un quadro di riferimento che evidenzia quattro punti di partenza per una progettazione orientata all'equità: (1) analisi critica dell'ingiustizia educativa, (2) approcci storicizzati al making come attività interculturale, (3) attenzione esplicita alla pedagogia e (4) indagine sui valori e gli scopi sociopolitici del making. Gli autori invitano a adottare una postura critica nei confronti della progettazione e della ricerca attorno al making, che ponga la cultura, il potere e l'equità al centro della riflessione. Infatti, progettare basandosi sulle pratiche quotidiane, per poi ampliarle, è ben diverso dal progettare attività basate sulle norme culturali dominanti o sui ritorni economici e lavorare poi per estendere la partecipazione. Inoltre, nel tentativo di tracciare dei confini attorno al making si è spesso giunti a porre il making stesso come obiettivo della pratica educativa, piuttosto che considerarlo come uno dei tanti strumenti che possono intersecarsi in modo produttivo con altre proficue forme di apprendimento. Gli autori esortano dunque a superare definizioni predeterminate e la ristretta focalizzazione sulle discipline STEM, per valorizzare i vari modi in cui i giovani sperimentano e valorizzano il making come attività inter e transdisciplinare, sviluppando relazioni sociali e nuove forme di *agency*.

Le esperienze raccolte e il progetto pilota riportati nel presente volume hanno accolto la sfida presentata dal post-digitale, sondando nuove opportunità per una pedagogia critica e una didattica post-digitale orientata al "*Critical Making*" (Ratto, 2011). L'intento è quello di avviare un processo di ripensamento e di riflessione sulle correnti pratiche educative, non più

conformi ad una società estremamente mutevole e complessa, fornendo quadri concettuali e pratici per la sua integrazione nella didattica curricolare. La ricerca condotta sinora ha infatti evidenziato luci e ombre dell'innovativo approccio Maker dando prova del suo potenziale trasformativo e, al tempo stesso, rimarcando le numerose questioni aperte da approfondire e affrontare affinché esso possa realmente integrarsi e impattare nella prassi educativa.



## Riferimenti bibliografici

- Ackermann, E.K. (1996). Perspective-taking and object construction: Two keys to learning. In Y. Kafai, & M. Resnick (Eds.), *Constructionism in practice: Designing, thinking, and learning in a digital world* (pp. 25–35). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Agency By Design. (2015). *Maker-centered learning and the development of self: Preliminary findings of the agency by design project*. Cambridge, MA: Harvard Graduate School of Education.
- Airoldi, R. (1978). Lo spazio scolastico: attrezzature e rapporto con il territorio. In E. Samek Lodovici, E. Ranci Ortigosa, G. Tomai, & R. Airoldi (Eds.), *Enciclopedia della Scuola*, vol. II, Istituzione scolastica e ambiente sociale. Milano: ISEDI.
- Alalwan, N., Cheng, L. Al-Samarraie, H., Yousef, R., Alzahrani, A.I., & Sarsam, S.M. (2020). Challenges and Prospects of Virtual Reality and Augmented Reality Utilization among Primary School Teachers: A Developing Country Perspective. *Studies in Educational Evaluation*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2020.100876>
- Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science & Technology Education*, 6(1), 63-71. Disponibile in: <https://www.learntechlib.org/p/148617/> [05.06.2023]
- Alimisis, D. (2019). Teacher Training in Educational Robotics: The ROBOESL Project Paradigm. *Technology, Knowledge and Learning*, 24(2), 279-290. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9357-0>
- Alimisis, D. (Ed.). (2009). *Teacher education on robotics-enhanced constructivist pedagogical method*. Athens, GR: ASPETE. Disponibile in: [http://dide.ilei.sch.gr/keplinet/education/docs/book\\_TeacherEducationOnRobotics-ASPETE.pdf](http://dide.ilei.sch.gr/keplinet/education/docs/book_TeacherEducationOnRobotics-ASPETE.pdf) [05.06.2023]
- Alimisis, D., & Moro, M. (2016). Editorial: Special issue on educational robotics. *Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier, 77, 74-75. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.12.006>

- Alimisis, D., Alimisi, R., Loukatos, D., & Zoulias, E. (2019). Introducing Maker Movement in Educational Robotics: Beyond Prefabricated Robots and “Black Boxes”. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 93-115). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_4)
- Alizadeh, M. (2019). Virtual reality in the language classroom: Theory and practice. *CALL-EJ*, 20(3), 21-30.
- Andersen, C.U., Cox, G., & Papadopoulos, G. (2014). Editorial: Postdigital research. *A Peer-Reviewed Journal About*, 3(1), 4-7. Disponibile in: <https://aprra.net//issue/view/8400> [05.06.2023]
- Anderson, C. (2012). *Makers: The new industrial revolution*. New York, NY: Crown Business.
- Angel-Fernandez, J.M. & Vincze, M. (2018). Towards a Definition of Educational Robotics. In P. Zech, & J. Piater (Eds.), *Proceedings of the Austrian Robotics Workshop 2018* (pp. 38-42). Innsbruck: Innsbruck University Press. <https://doi.org/10.15203/3187-22-1>
- Asad, M.M., Naz, A., Churi, P., Guerrero, A.J.M., & Salameh, A.A. (2022). Mix Method Approach of Measuring VR as a Pedagogical Tool to Enhance Experimental Learning: Motivation from Literature Survey of Previous Study. *Education Research International*, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/8262304>
- Attewell, J. (2020). *Makerspaces in Schools. Practical Guidelines for Leaders and Teachers*. European Schoolnet. Belgio. Disponibile in: <https://fcl.eun.org/documents/10180/5350860/19552-11-Makerspace-Guidelines-v4.pdf/e50edfbf-b30d-49a2-a066-da2991cfb921> [05.06.2023]
- Ausubel, D.P. (1968). *Educational psychology. A cognitive view*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Badeleh, A. (2021). The effects of robotics training on students’ creativity and learning in physics. *Education and Information Technologies*, 26, 1353-1365. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09972-6>
- Bagattini, D., Miotti, B., & Operto, F. (2021). Educational Robotics and the Gender Perspective. In D. Scaradozzi, L. Guasti, M. Di Stasio, B. Miotti, A. Monteriù, & P. Blikstein (Eds.), *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments*. Lecture Notes in Networks and Systems, 240 (pp. 249-254). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_33)
- Bandura, A. (1993). Perceived self-efficacy in cognitive development and functioning. *Educational Psychologist*, 28(2), 117-148. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep2802\\_3](https://doi.org/10.1207/s15326985ep2802_3)
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: the exercise of control*. New York, NY: Freeman.
- Banzato, M., & Tosato, P. (2017). Narrative learning in coding activities: gender differences in middle school. *Formazione e insegnamento I*, 339-354.
- Bargagna, S., Castro, E., Cecchi, F., Cioni, G., Dario, P., Dell’Omo, Di Lieto, M.C., Inguaggiato, E., Martinelli, A., Pecini, C., & Sgandurra, G. (2019). Educational Robotics in Down Syndrome: A Feasibility Study. *Technology, Knowledge and Learning*, 24(2), 315-323. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9366-z>

- Barad, K. (2007). *Meeting the Universe Halfway: Quantum Physics and the Entanglement of Matter and Meaning*. Durham, NC: Duke University Press.
- Baroutsis, A., & Towers, C. (2017). Makerspaces: Inspiring writing in young children. *Practical Literacy: The Early & Primary Years*, 22(3), 32-34.
- Barrett, T., Pizzico, M., Levy, B., Nagel, R., Linsey, J., Talley, K., Forest, C.R., & Newstetter, W.C. (2015). A Review of University Maker Spaces. In *122nd Annual Conference & Exposition of the American Society for Engineering Education*. Seattle, WA. Disponibile in: <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/53813> [05.06.2023]
- Bayne, S., & Jandrić, P. (2017). From anthropocentric humanism to critical posthumanism in digital education. *Knowledge Cultures*, 5(2), 197-216. <https://doi.org/10.22381/KC52201712>
- Beghetto, R.A. (2013). *Killing ideas softly? The promise and perils of creativity in the classroom*. Information Age Publishing.
- Beghetto, R.A. (2016). Creative learning: A fresh look. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 15, 6–23.
- Beghetto, R.A. (2020). Uncertainty. In V.P. Glăveanu (Ed.), *The Palgrave Encyclopedia of the Possible* (pp. 1-7). Cham: Palgrave Macmillan. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98390-5\\_122-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98390-5_122-1)
- Beghetto, R.A. (2023). Engaging Uncertainty: Principles and Provocations for Promoting Creative Learning Futures. In D. Henriksen & P. Mishra (Eds.), *Creative Provocations: Speculations on the Future of Creativity, Technology & Learning*. Creativity Theory and Action in Education, 7 (pp. 195-212). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0_14)
- Bellamy, R. (2008). Evaluating Union Citizenship: Belonging, rights and participation within the EU. *Citizenship Studies*, 12(6), 597-611. <https://doi.org/10.1080/13621020802450676>
- Bellanca, J., & Brandt, R. (2010). *21st Century Skills: Rethinking How Students Learn*. Bloomington, IN: Solution Tree Press.
- Bergmann, J., & Sams, A. (2012). *Flip Your Classroom. Reach Every Student in Every Class Every Day*. Washington, DC: International Society for Technology in Education.
- Berry, R.Q., Bull, G., Browning, C., Thomas, C.D., Starkweather, K., & Aylor, J.H. (2010). Use of digital fabrication to incorporate engineering design principles in elementary mathematics education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 10(2), 167-172.
- Berthoz, A. (2009). *La Simplexité*. Paris: Odile Jacob.
- Betancourt, M. (2017). *Glitch Art in Theory and Practice: Critical Failures and Post-digital Aesthetics*. New York: Routledge.
- Bevan, B. (2017). The promise and the promises of making in science education. *Studies in Science Education*, 53(1), 75-103. <https://dx.doi.org/10.1080/03057267.2016.1275380>



- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M., & Rumble, M. (2012). Defining twenty-first century skills. In P. Griffin, B. McGaw, & E. Care (Eds.), *Assessment and teaching of 21<sup>st</sup> century skills* (Vol. 1, pp. 17-66). Netherlands: Springer. [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5_2)
- Bizzarri, C. (2021). Tra di noi: la robotica educativa come stile di apprendimento 5-10 anni. Una “materia” per ripensare le altre materie. In G. Bozzi, L. Zecca, & E. Datteri (Eds.), *Interazione Bambini-Robot. Riflessioni Teoriche, Risultati Sperimentali, Esperienze* (pp. 365-379). Milano: FrancoAngeli.
- Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and Classroom Learning. *Assessment in Education: Principles. Policy & Practice*, 5(1), 7-74. <https://doi.org/10.1080/0969595980050102>
- Blackley, S., & Howell, J. (2019). The Next Chapter in the STEM Education Narrative: Using Robotics to Support Programming and Coding. *Australian Journal of Teacher Education*, 44(4). <https://doi.org/10.14221/ajte.2018v44n4.4>
- Blackley, S., Rahmawati, Y., Fitriani, E., Sheffield, R., & Koul, R. (2018). Using a Makerspace approach to engage Indonesian primary students with STEM. *Educational Research*, 28(1), 18-42.
- Blikstein, P. (2008). Travels in Troy with Freire: Technology as an Agent for Emancipation. In P. Noguera, & C.A. Torres (Eds.), *Social Justice Education for Teachers: Paulo Freire and the possible dream* (pp. 205-244). Rotterdam, Netherlands: Sense.
- Blikstein, P. (2013). Digital fabrication and ‘making’ in education: the democratization of invention. In J. Walter-Herrmann, & C. Büching (Eds.), *FabLab: Of Machines, Makers and Inventors* (pp. 203-221). Bielefeld: Transcript.
- Blikstein, P. (2021). If We Could Start from Scratch, What Would Schools Look like in the Twenty-First Century? Rethinking Schools as a Locus for Social Change. In D. Scaradozzi, L. Guasti, M. Di Stasio, B. Miotti, A. Moneriù, & P. Blikstein (Eds.), *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments*. Lecture Notes in Networks and Systems, 240 (pp. 41-49). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_6)
- Bocconi, S., Kamylyis, P., & Punie, Y. (2012). *Innovating Learning: Key Elements for Developing Creative Classrooms in Europe*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2791/90566>
- Bolter, J.D. (2020). *Plenitudine digitale: Il declino delle culture di élite e l'ascesa dei media digitali*. Roma: Minimum Fax.
- Bombieri, L., & Giusti, T. (2021). *Potenziare la creatività attraverso il makerspace*. In *Book of Abstract Convegno nazionale Interazione Bambini-Robot 2021 (IBR21)* (p. 13). Milano.
- Borri, S. (2016). Un manifesto per gli spazi educativi del terzo millennio. In G. Biondi, S. Borri, & L. Tosi (Eds.), *Dall'aula all'ambiente di apprendimento* (pp. 151-155). Firenze: Altra Linea Edizioni.

- Bosco, A., Santiveri, N., & Tesconi, S. (2019). Digital Making in Educational Projects. *Center for Educational Policy Studies Journal*, 9(3), 51-71. <https://doi.org/10.26529/cepsj.629>
- Bozzi, G. & Merisio, C. (2021). I robot per l'educazione e la didattica. Una rassegna critica della letteratura. In G. Bozzi, L. Zecca, & E. Datteri (Eds.), *Interazione Bambini-Robot. Riflessioni Teoriche, Risultati Sperimentali, Esperienze* (pp. 17-47). Milano: FrancoAngeli.
- Braidotti, R. (2013). *The posthuman*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Bravi, L., Murmura, F., & Santos, G. (2018). Manufacturing labs: Where new digital technologies help improve life quality. *International Journal for Quality Research*, 12, 957-974. <https://doi.org/10.18421/IJQR12.04-11>
- Braybrooke, K. (2018). Hacking the Museum? Practices and Power Geometries at Collections Makerspaces in London. *Journal of Peer Production*, 2(12), 40-59. Disponibile in: <http://peerproduction.net/issues/issue-12-makerspaces-and-institutions/peer-reviewed-papers/hacking-the-museum/> [05.06.2023]
- Brender J., El-Hamamsy L., Bruno B., Chessel-Lazzarotto F., Zufferey J.D., & Mondada F. (2021). Investigating the Role of Educational Robotics in Formal Mathematics Education: The Case of Geometry for 15-Year-Old Students. In T. De Laet, R. Klemke, C. Alario-Hoyos, I. Hilliger, & A. Ortega-Arranz (Eds.), *Technology-Enhanced Learning for a Free, Safe, and Sustainable World. EC-TEL 2021*. Lecture Notes in Computer Science, 12884 (pp. 67-81). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86436-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86436-1_6)
- Brousseau, G. (1986). Fondement et Méthodes de la Didactique des Mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2), 33-115. Disponibile in: <https://revue-rdm.com/1986/fondements-et-methodes-de-la/> [05.06.2023]
- Browder, R.E. Aldrich, H.E. & Bradley, S.W. (2019). The emergence of the maker movement: Implications for entrepreneurship research. *Journal of Business Venturing* 34(3), 459-476. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2019.01.005>
- Bryant, L.C., Vincent, R., Shaqlaih, A., & Moss, G. (2013). Behaviorism and behavioral learning theory. In B.J. Irby, G. Brown, R. Lara-Alecio, & S. Jackson (Eds.), *The handbook of educational theories* (pp. 91-103). IAP Information Age Publishing.
- Buchholz, B., Shively, K., Peppler, K., & Wohlwend, K. (2014). Hands on, hands off: Gendered access in crafting and electronics practices. *Mind, Culture, and Activity*, 21, 278-297. <https://doi.org/10.1080/10749039.2014.939762>
- Buckley, P., & Doyle, E. (2016) Gamification and student motivation. *Interactive Learning Environments*, 24(6), 1162-1175. <https://doi.org/10.1080/10494820.2014.964263>
- Buechley, L. (2006). A Construction Kit for Electronic Textiles. *2006 10th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, 83-90. <https://doi.org/10.1109/ISWC.2006.286348>
- Bull, G., & Garofalo, J. (2009). Personal Fabrication Systems: From Bits to Atoms. *Learning and leading with technology*, 36(7), 10-12.

- Bull, G., Gerald, K., & Gibson, D. (2009). Editorial: A rationale for incorporating engineering education into the teacher education curriculum. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(3), 222-225.
- Bull, G., Schmidt-Crawford, D.A., McKenna, M.C., & Cohoon, J. (2017). Storymaking: Combining Making and Storytelling in a School Makerspace. *Theory Into Practice*, 56(4), 271-281. <https://doi.org/10.1080/00405841.2017.1348114>
- Bullock, S.M., & Sator, A.J. (2015). Maker pedagogy and science teacher education. *Journal of the Canadian Association for Curriculum Studies*, 13(1), 60-87. Disponibile in: <https://jcacs.journals.yorku.ca/index.php/jcacs/article/view/40246> [05.06.2023]
- Byrne, E.P. (2015). High or low tech approaches to teaching and learning?: The value of pedagogical soundness. In *Research in Engineering Education Symposium (REES2015)*. Dublin Institute of Technology.
- Caci, B., D'Amico, A., & Chiazzese, G. (2013). Robotics and virtual worlds: an experiential learning lab. In A. Chella, R. Pirrone, R. Sorbello, & K. Jóhannsdóttir (Eds.), *Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 196 (pp. 83-87). Berlin, Heidelberg: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-34274-5\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34274-5_19)
- Čapek, K. (1920). *R.U.R. Rossum's Universal Robots*. Prague: Vydalo Aventium.
- Capolla, L.M. & Rossi, P.G. (in press). La didattica dal digitale al post digitale tra plenitudine e responsabilità. In P.C. Rivoltella & P.G. Rossi (Eds.), *Tecnologie dell'educazione*. Milano: Pearson.
- Capolla, L.M., Rossi, P.G., & Pentucci, M. (2023). Managing uncertainties in didactic design. In L. Gómez Chova, C. González Martínez, & J. Lees (Eds.), *INTED2023 Proceedings* (pp. 4645-4651). Valencia: IATED Academy. <https://doi.org/10.21125/inted.2023.1221>
- Care, E., Anderson, K., & Kim, H. (2016). *Visualizing the breadth of skills movement across education systems*. Washington, DC: Center for Universal Education at the Brookings Institution. Disponibile in: [https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/09/global\\_20160916\\_breadth\\_of\\_skills\\_movement.pdf](https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/09/global_20160916_breadth_of_skills_movement.pdf) [05.06.2023]
- Carless, D. (2015a). Exploring learning-oriented assessment processes. *Higher Education*, 69(6), 963-976. <https://doi.org/10.1007/s10734-014-9816-z>
- Carless, D. (2015b). *Excellence in university assessment: Learning from award-winning teaching*. Abingdon: Routledge.
- Carless, D. (2019). Feedback loops and the longer-term: towards feedback spirals. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 44(5), 705-714. <https://doi.org/10.1080/02602938.2018.1531108>
- Carless, D., Joughin, G., & Mok, M. (2006). Learning-oriented assessment: Principles and practice. *Assessment and Evaluation in Higher Education*, 31(4), 395-398. <https://doi.org/10.1080/02602930600679043>

- Carretero, S., Vuorikari, R., & Punie, Y. (2017). *DigComp 2.1: The Digital Competence Framework for Citizens with eight proficiency levels and examples of use*. EUR 28558 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/38842>
- Cascone, K. (2000). The Aesthetics of Failure: “Post-Digital” Tendencies in Contemporary Computer Music. *Computer Music Journal*, 24(4), 12-18. <http://www.jstor.org/stable/3681551> [05.06.2023]
- Cassani, R., Moïnnereau, M.A., Ivanescu, L., Rosanne, O., & Falk, T.H. (2020). Neural Interface instrumented virtual reality headsets: Toward next-generation immersive applications. *IEEE Systems Man and Cybernetics Magazine*, 6(3), 20-28. <https://doi.org/10.1109/MSMC.2019.2953627>
- Castledine, A., & Chalmers, C. (2011). LEGO Robotics: An authentic problem solving tool?. *Design And Technology Education: An International Journal*, 16(3), 19-27. Disponibile in: <https://ojs.lboro.ac.uk/DATE/article/view/1661> [05.06.2023]
- Cecchinato, G., & Papa, R. (2016). *Flipped Classroom. Un nuovo modo di insegnare e apprendere*. Novara: De Agostini.
- Cesaro, L., & Monti, G. (2021). MakingLab a distanza. In B. Miotti, L. Guasti, D. Scaradozzi, M. Di Stasio, & L. Screpanti (Eds.), *Movimento maker, robotica educativa e ambienti di apprendimento innovativi a scuola e in DAD* (pp. 54-60). Roma: Carocci editore.
- Chang, S., Keune, A., Pepler, K., McKay, C., & Regalia, L. (2015). The importance of portfolios for makers. In A. Keune, A. Maltese, C. McKay, S. Chang, K. Pepler, & L. Regalia (Eds.), *Open Portfolio Project: Research Brief Series* (pp. 12-17). Maker Ed. Disponibile in: [http://makered.org/wp-content/uploads/2016/01/MakerEdOPP\\_full-Research-Brief-Series\\_final.compressed.pdf](http://makered.org/wp-content/uploads/2016/01/MakerEdOPP_full-Research-Brief-Series_final.compressed.pdf) [05.06.2023]
- Chell, E., & Athayde, R. (2011). Planning for uncertainty: soft skills, hard skills and innovation. *Reflective Practice: International and Multidisciplinary Perspectives*, 12(5), 615-628. <https://doi.org/10.1080/14623943.2011.601561>
- Chemi, T. (2023). Creativity, Embodiment and Ensembles Through Technological Interactions in Critical-Creative Higher Education. In D. Henriksen & P. Mishra (Eds.), *Creative Provocations: Speculations on the Future of Creativity, Technology & Learning*. Creativity Theory and Action in Education, 7 (pp. 81-96). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0_6)
- Chen, C.H., Huang, C.Y., & Chou, Y.Y. (2017). Effects of augmented reality-based multidimensional concept maps on students’ learning achievement, motivation and acceptance. *Universal Access in the Information Society*, 18(2), 257-268. <https://doi.org/10.1007/s10209-017-0595-z>
- Chen, C.J. (2009). Theoretical bases for using virtual reality in education. *Themes in Science and Technology Education*, 2(1-2), 71-90. Disponibile in: <http://earthlab.uoi.gr/theste/index.php/theste/article/view/23> [05.06.2023]

- Chin, K.-Y., & Wang, C.-S. (2021). Effects of augmented reality technology in a mobile touring system on university students' learning performance and interest. *Australasian Journal of Educational Technology*, 37(1), 27-42. <https://doi.org/10.14742/ajet.5841>
- Christopoulos, A., Conrad, M., & Shukla, M. (2018). The added value of the hybrid virtual learning approach: Using virtual environments in the real classroom. In Y. Qian (Ed.), *Integrating multi-user virtual environments in modern classrooms* (pp. 259-279). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-3719-9.ch012>
- Chu, S.L., Schlegel, R., Quek, F., Christy, A., & Chen, K. (2017). 'I Make, Therefore I Am': The Effects of Curriculum-Aligned Making on Children's Self-Identity. In *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 109-120). New York, NY: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025458>
- Coburn, C.E., & Stein, M.K. (Eds.). (2010). *Research and practice in education: Building alliances, bridging the divide*. Lanham, MD: Rowman and Littlefield.
- Consiglio dell'Unione Europea (2018). *Raccomandazione del Consiglio del 22 maggio 2018 relativa alle competenze chiave per l'apprendimento permanente* (2018/C 189/01). Gazzetta ufficiale dell'Unione europea. Disponibile in: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604\(01\)&from=IT](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604(01)&from=IT) [05.06.2023]
- Cousins, B. (2018). Design thinking: Organizational learning in VUCA environments. *Academy of Strategic Management Journal*, 17(2), 1-18.
- Craddock, I. (2015). Makers on the move: A mobile makerspace at a comprehensive public high school. *Library Hi Tech*, 33(4), 497-504. <https://doi.org/10.1108/LHT-05-2015-0056>
- Cramer, F. (2015). What is 'post-digital'? In D.M. Berry & M. Dieter (Eds.), *Postdigital aesthetics: Art, computation and design* (pp. 12-26). New York, NY: Palgrave Macmillan.
- Cramer, F., & Jandrić, P. (2021). Postdigital: A Term That Sucks but Is Useful. *Postdigital Science and Education*, 3, 966-989. <https://doi.org/10.1007/s42438-021-00225-9>
- Creely, E. (2023). Conceiving Creativity and Learning in a World of Artificial Intelligence: A Thinking Model. In D. Henriksen & P. Mishra (Eds.), *Creative Provocations: Speculations on the Future of Creativity, Technology & Learning*. Creativity Theory and Action in Education, 7 (pp. 35-50). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0_3)
- Crichton, S., & Childs, E. (2016, October). Taking Making into Schools Through Immersive Professional Learning. In *Proceedings for the 15<sup>th</sup> European Conference on e-Learning (ECEL)* (pp. 144-150). Prague: Academic Conferences International Limited.
- Cropley, D.H., Medeiros, K.E., & Damadzic, A. (2023). The Intersection of Human and Artificial Creativity. In D. Henriksen & P. Mishra (Eds.), *Creative Provocations: Speculations on the Future of Creativity, Technology & Learning*.

- Creativity Theory and Action in Education, 7 (pp. 19-34). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0_2)
- Cuartielles, D., Iriepa, N., Rodriguez, C., Lopez, E., & Garcia, J. (2020). Educational Robots with Arduino: Annotated Prototypes. In M. Moro, D. Alimisis, & L. Iocchi (Eds.), *Edurobotics 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 946 (pp. 161-174). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3_13)
- Daniela, L. (2021). Pedagogical Considerations for Technology-Enhanced Learning. In D. Scaradozzi, L. Guasti, M. Di Stasio, B. Miotti, A. Monteriù, & P. Blikstein (Eds.), *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments*. Lecture Notes in Networks and Systems, 240 (pp. 57-64). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_8)
- Daniela, L., & Lytras, M.D. (2019). Educational Robotics for Inclusive Education. *Technology, Knowledge and Learning*, 24(2), 219-225. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9397-5>
- Daniela, L., & Strods, R. (2019). Educational Robotics for Reducing Early School Leaving from the Perspective of Sustainable Education. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics*. Cham: Springer (pp. 43-61). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_2)
- Daniela, L., Strods, R., & France, I. (2019). Activities with Educational Robotics: Research Model and Tools for Evaluation of Progress. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics*. Cham: Springer (pp. 251-266). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_10)
- De Toni, A.F. & De Zan, G. (2015). *Il dilemma della complessità*. Venezia: Marsilio Editori.
- Del Bianco, N. (2018). Robotic-Lab: nuovi spazi di connessione tra Robotica e inclusione. In C. Giaconi, & N. Del Bianco (Eds.), *In Azione. Prove di inclusione* (pp. 50-63). Milano: FrancoAngeli.
- Derhally, L.A. (2016, May 19). *Kids don't know how to play on their own anymore. Here are four ways to change that*. The Washington Post. Disponibile in: <https://www.washingtonpost.com/news/parenting/wp/2016/05/19/4-ways-to-get-kids-to-play-more-and-to-enjoy-it/> [05.06.2023]
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. New York, NY: Harper.
- Dewey, J. (2004). My pedagogic creed. In D.J. Flinders, & S.J. Thornton (Eds.), *The curriculum studies reader* (pp. 17-23). New York, NY: Routledge.
- Dewey, J. (2014). *Esperienza e Educazione*. Milano: Cortina Editore.
- Di Lieto, M.C., Pecini, C., Castro, E., Inguaggiato, E., Cecchi, F., Dario, P., Sgandurra, G., & Cioni, G. (2019). Robot Programming to Empower Higher Cognitive Functions in Early Childhood. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 229-250). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_9)



- Di Serio, Á., Ibáñez, M.-B., & Delgado Kloos, C. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers & Education*, 68(1), 586-596. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002>
- Di Stasio, M., & Nulli, G. (2021). Interfacce tangibili per la didattica disciplinare nel Primo Ciclo. Dalla sperimentazione alla formazione. In G. Bozzi, L. Zecca, & E. Datteri (Eds.), *Interazione Bambini-Robot. Riflessioni Teoriche, Risultati Sperimentali, Esperienze* (pp. 174-200). Milano: FrancoAngeli.
- Di Tore, S. (2016). *La tecnologia della parola, didattica inclusiva e lettura*. Milano: FrancoAngeli.
- Di Tore, S., De Simone, G., & Todino, M.D. (2021). Learning by Making. 3D Printing Guidelines for Teachers. In D. Scaradozzi, L. Guasti, M. Di Stasio, B. Miotti, A. Monteriù, & P. Blikstein (Eds.), *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments*. Lecture Notes in Networks and Systems, 240 (pp. 181-186). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_24)
- Diaz, J., Tomàs, M., & Lefebvre, S. (2021). Are public makerspaces a means to empowering citizens? The case of Ateneus de Fabricació in Barcelona. *Telematics and Informatics*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2020.101551>
- Dirkin, K., & Mishra, P. (2010, March). Values, beliefs, and perspectives: Teaching online within the zone of possibility created by technology. In *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 3811-3817). San Diego, CA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- Divitini, M., Giannakos, M.N., Mora, S., Papavlasopoulou, S., & Iversen, O.S. (2017, June). Make2Learn with IoT: Engaging children into joyful design and making of interactive connected objects. In P. Blikstein, & D. Abrahamson (Eds.), *Proceedings of the 2017 Conference on Interaction Design and Children* (pp. 757-760). New York, NY: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3078072.3081312>
- Domínguez, F., & Ochoa, X. (2017, April). Smart objects in education: An early survey to assess opportunities and challenges. In *2017 Fourth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG)* (pp. 216-220). IEEE.
- Donaldson, J.P., & Bucy, M. (2017, May). Constructionism and Authorship Learning. *AERA Online Paper Repository*. Paper presented at the 2017 American Educational Research Association Annual Meeting, San Antonio, TX.
- Doppelt, Y. (2009). Assessing creative thinking in design-based learning. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(1), 55-65. <https://doi.org/10.1007/s10798-006-9008-y>
- Dougherty, D. (2012). The maker movement. *Innovations*, 7(3), 11-14. [https://doi.org/10.1162/INOV\\_a\\_00135](https://doi.org/10.1162/INOV_a_00135)
- Dougherty, D. (2013). The maker mindset. In M. Honey & D.E. Kanter (Eds.), *Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators* (pp. 7-11). New York, NY: Routledge.

- Dougherty, D. (2016). *Free to make: How the maker movement is changing our schools, our jobs, and our minds*. Berkley, CA: North Atlantic Books.
- Duffy, T.M., & Jonassen, D.H. (2013). *Constructivism and the technology of instruction: A conversation*. New York, NY: Routledge.
- Earl, L. (2013). *Assessment as learning: Using classroom assessment to maximise student learning* (2nd ed.). Twin Oaks, CA: Sage, 2013.
- Eccles, J.S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109-132. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135153>
- Edwards, A. (2005). Relational agency: Learning to be a resourceful practitioner. *International Journal of Educational Research*, 43(3), 168-182. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2006.06.010>
- Eguchi, A. (2007). Educational Robotics for Elementary School Classroom. In R. Carlsen, K. McFerrin, J. Price, R. Weber, & D. Willis (Eds.), *Proceedings of SITE 2007--Society for Information Technology & Teacher Education International Conference* (pp. 2542-2549). San Antonio, Texas: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). Disponibile in: <https://www.learntechlib.org/primary/p/24977/> [05.06.2023]
- Elliott, A. (2021). *La cultura dell'intelligenza artificiale. Vita quotidiana e rivoluzione digitale*. Torino: Codice.
- Eriksson, E., Heath, C., Ljungstrand, P., & Parnes, P. (2018). Makerspace in school: Considerations from a large-scale national testbed. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 16, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2017.10.001>
- Erntmer, P.A., & Ottenbreit-Leftwich, A. (2013). Removing obstacles to the pedagogical changes required by Jonassen's vision of authentic technology-enabled learning. *Computers & Education* 64(1), 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.008>
- Eteokleous, N., Nisiforou, E., & Christodoulou, C. (2020). Creativity Thinking Skills Promoted Through Educational Robotics. In M. Moro, D. Alimisis, & L. Iocchi (Eds.), *Edurobotics 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 946 (pp. 57-68). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3_5)
- European Commission (2014). *EU Skills Panorama - STEM skills Analytical Highlight*. Disponibile in: [https://skillspanorama.cedefop.europa.eu/sites/default/files/EUSP\\_AH\\_STEM\\_0.pdf](https://skillspanorama.cedefop.europa.eu/sites/default/files/EUSP_AH_STEM_0.pdf) [05.06.2023]
- Fawns, T. (2019). Post-digital education in design and practice. *Post-digital Science and Education*, 1, 132-145. <https://doi.org/10.1007/s42438-018-0021-8>
- Fawns, T., Ross, J., Carbonel, H., Noteboom, J., Finnegan-Dehn, S., & Raver, M. (2023). Mapping and Tracing the Postdigital: Approaches and Parameters of Postdigital Research. *Postdigital Science and Education*, 5, 1, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s42438-023-00391-y>



- Figliola, A. (2018). The role of didactics in the post-digital age. *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 3, 29-36. <https://doi.org/10.19229/2464-9309/342018>
- Firth, N. (2014). Code generation. *New Scientist*, 223(2985), 38-41. [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(14\)61724-3](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(14)61724-3)
- Fishman, B.J., Penuel, W.R., Allen, A., & Cheng, B.H. (Eds.). (2013). Design-based implementation research: Theories, methods, and exemplars. *National Society for the Study of Education Yearbook*, 112(2). New York: Teachers College Record.
- Fleming, L. (2015). *Worlds of making: Best practice for establishing a MakerSpace for your school*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Floridi, L. (2017). *La quarta rivoluzione. Come l'infosfera sta trasformando il mondo*. Milano: Raffaello Cortina.
- Folkmann, M.N. (2013). *The Aesthetics of Imagination in Design*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Franklin, S. (2015). *Control: Digitality as Cultural Logic*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Friday Institute for Educational Innovation (2012). *Student Attitudes toward STEM Survey-Upper Elementary School Students*. Raleigh, NC: Friday Institute for Educational Innovation.
- Frolov, A.V. (2010). The Role of STEM education in the "new economy" of the USA. *Questions of the new economy*, 4(16), 80-90.
- Gall, D., & Latoschik, M.E. (2020). Visual Angle Modulates Affective Responses to Audiovisual Stimuli. *Computers in Human Behavior*, 109, 106346. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106346>
- Garavaglia, A., Petti, L., Murgia, E., Bassi, F., & Maranesi, S. (2018). Introduzione della robotica in attività di problem-solving nella scuola primaria. Analisi dei livelli di focalizzazione sugli scopi del problema. *Mondo Digitale*, 75.
- Garzia, M. & Mangione, G.R. (2017). Pedagogia "maker" - La fabbricazione digitale e il raccordo con la Scuola dell'Infanzia. In L. Guasti, & A. Rosa (Eds.), *Maker@scuola - Stampanti 3D nella scuola dell'infanzia* (pp. 35-56). Firenze: Assopiù Editore.
- Gaudiello, I., & Zibetti, E. (2013). Using control heuristics as a means to explore the educational potential of robotics kits. *Themes in Science & Technology Education*, 6(1), 15-28.
- Gehringer, E.F. (2017, June). Self-assessment to improve learning and evaluation. In *2017 ASEE Annual Conference & Exposition*. Columbus, Ohio. <https://doi.org/10.18260/1-2--28816>
- Gerber, E.M., Marie Olson, J., & Komarek, R.L. (2012). Extracurricular design-based learning: preparing students for careers in innovation. *International Journal of Engineering Education*, 28(2), 317-324.
- Gershenfeld, A. (2005). *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop—from Personal Computers to Personal Fabrication*. New York, NY: Basic Books.

- Geser, G., Hollauf, E., Hornung-Prähauser, V., Schön, S., & Vloet, F. (2019). Makerspaces as Social Innovation and Entrepreneurship Learning Environments: The DOIT Learning Program. *Discourse and Communication for Sustainable Education*, 10(2), 60-71. <https://doi.org/10.2478/dcse-2019-0018>
- Giannandrea, L. (2021). Post umano, post digitale, terzo spazio. Riflessioni sulla didattica universitaria negli scenari che cambiano. In M. Stramaglia (Ed.), *Volume in onore di Michele Corsi* (pp. 383-392). Lecce: Pensa MultiMedia.
- Giannandrea, L. (2022). La valutazione diffusa. Gli embedded tasks e l'assessment as learning. In P.C. Rivoltella, & P.G. Rossi (Eds.), *Nuovo agire didattico* (pp. 165-171). Brescia: Scholé.
- Giannandrea, L., & D'Angelo, I. (2018). Bambini e Robot. La Robotica Educativa nella scuola dell'infanzia. In C. Giaconi, & N. Del Bianco (Eds.), *In Azione. Prove di inclusione* (pp. 15-23). Milano: FrancoAngeli.
- Gibau, G.S., Kissel, F., & Labode, M. (2019). Starting with the Space: Integrating Learning Spaces and Technologies: Integrating Learning Spaces and Technologies. *Journal of Teaching and Learning With Technology*, 8(1), 17-32. <https://doi.org/10.14434/jotlt.v8i1.26743>
- Gilbert, J. (2017). Educational Makerspaces: Disruptive, Educative or Neither? *New Zealand Journal of Teachers' Work*, 14(2), 80-98.
- Glăveanu, V.P., & Beghetto, R.A. (2016). The Difference That Makes a 'Creative' Difference in Education. In R.A. Beghetto, & B. Sriraman, B. (Eds.), *Creative Contradictions in Education*. Creativity Theory and Action in Education, 1 (pp. 37-54). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21924-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21924-0_3)
- Glover, I. (2013) Play as you learn: gamification as a technique for motivating learners. In J. Herrington, A. Couros, & V. Irvine (Eds.), *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2013* (pp. 1999-2008). Chesapeake, VA: Association for the Advancement of Computing in Education.
- Godhe, A.-L., Lilja, P., & Selwyn, N. (2019). Making sense of making: critical issues in the integration of maker education into schools. *Technology, Pedagogy and Education*, 28(3), 317-328. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2019.1610040>
- Gomez Paloma, F. (2013). *Embodied Cognitive Science. Atti incarnati della didattica*. Roma: Edizioni Nuova Cultura.
- Gopalan, V., Zulkifli, A.N., & Aida, J. (2016, August). A study of students' motivation using the augmented reality science textbook. In *AIP Conference Proceedings*, 1761(1), 020040. AIP Publishing LLC. <https://doi.org/10.1063/1.4960880>
- Gratani, F. (2021). Towards Assessment as Learning: Findings from online courses for secondary school teachers. *Education Sciences And Society*, 432-433. <https://doi.org/10.3280/ess2-2021oa12877>
- Gratani, F., & Capolla, L.M. (2023). Maker Education and semplexity. Rethinking education to address emerging complexity. *Form@re - Open Journal Per La Formazione in Rete*, 23(1), 101-111. <https://doi.org/10.36253/form-13643>

- Gratani, F., & Giannandrea, L. (2021). Learning through practice: integrating the maker approach into primary school curriculum. In L. Gómez Chova, A. López Martínez, & I. Candel Torres (Eds.), *EDULEARN21 Proceedings* (pp. 11378-11386). Valencia: IATED Academy. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2021.2372>
- Gratani, F., & Giannandrea, L. (2022). Towards 2030. Enhancing 21st century skills through educational robotics. *Frontiers in Education*, 7, <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.955285>
- Gratani, F., Giannandrea, L., & Rossi, P.G. (2023). Learning in the post-digital era. Transforming education through the Maker approach. *Research on Education and Media*, 15(1), 111-119. <https://doi.org/10.2478/rem-2023-0015>
- Gratani, F., Giannandrea, L., Renieri, A., & Annessi, M. (2021). Fostering Students' Problem-Solving Skills Through Educational Robotics in Primary School. In M. Malvezzi, D. Alimisis, D., & M. Moro (Eds.), *Education in & with Robotics to Foster 21st-Century Skills. Edurobotics 2021*. Studies in Computational Intelligence, 982 (pp. 3-14). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77022-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77022-8_1)
- Gratani, F. & Seitamaa-Hakkarainen, P. (in press). Creare per apprendere: dalla Maker Education all'Invention Pedagogy. In P.C. Rivoltella & P.G. Rossi (Eds.), *Tecnologie dell'educazione*. Milano: Pearson.
- Green, J.K. (2022). Designing Hybrid Spaces for Learning in Higher Education Health Contexts. *Postdigital Science and Education*, 4, 93-115. <https://doi.org/10.1007/s42438-021-00268-y>
- Grimaldi, R., Grimaldi, B.S., Marciàno, G., Siega, S., & Palmieri, S. (2012). Robotica educativa e potenziamento delle abilità visuo-spaziali. In T. Roselli, A. Andronico, F. Berni, P. Di Bitonto, & V. Rossano (Eds.), *Didamatica 2012. Informatica per la didattica* (Vol. 1, pp. 1-10). Bari: AICA-Università di Bari.
- Griswold, W. (2005). *Sociologia della cultura*. Bologna: Il Mulino.
- Grover, S. (2011). Robotics and engineering for middle and high school students to develop computational thinking. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*, 650, 1-15.
- Guastella, D., & D'Amico, A. (2020). Teaching Physics Concepts Using Educational Robotics. In M. Moro, D. Alimisis, & L. Iocchi (Eds.), *Educational Robotics in the Context of the Maker Movement. Edurobotics 2018*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 946 (pp. 214-218). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3_20)
- Guasti, L. (2017). Il contesto di riferimento. In L. Guasti, & A. Rosa (Eds.), *Maker@scuola - Stampanti 3D nella scuola dell'infanzia* (pp. 13-20). Firenze: Assopiù Editore.
- Guasti, L., & Rosa, A. (2017). *Maker@scuola - Stampanti 3D nella scuola dell'infanzia*. Firenze: Assopiù Editore.

- Gutiérrez, K.D., Rymes, B., & Larson, J. (1995). Script, counterscript, and underlife in the classroom: James Brown versus Brown v. Board of Education. *Harvard Educational Review*, 65(3), 445-471. <http://hdl.handle.net/1802/23558>
- Gyebi, E.B.B., Hanheide, M., & Cielniak, G. (2017). The Effectiveness of Integrating Educational Robotic Activities into Higher Education Computer Science Curricula: A Case Study in a Developing Country. In D. Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti (Eds.), *Edurobotics 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 560 (pp. 73-87). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9_6)
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., & Tatham, R.L. (2006). *Multivariate data analysis*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Halverson, E.R., & Sheridan, K. (2014). The maker movement in education. *Harvard Educational Review*, 84(4), pp.495-504. <https://doi.org/10.17763/haer.84.4.34j1g68140382063>
- Han, S. (2019). *Creating a maker course syllabus for the Learning Technologies program: bridging experiences between the UT Campus makerspace and K-12 makerspaces in Austin, Texas*. PhD dissertation. Austin, TX: The University of Texas at Austin. <http://dx.doi.org/10.26153/tsw/3090>
- Han, S., & Resta, P.E. (2020). Virtually authentic: Graduate students' perspective changes toward authentic learning while collaborating in a virtual world. *Online Learning*, 24(4), 5-27. <https://doi.org/10.24059/olj.v24i4.2326>
- Hansen, A.K., McBeath, J.K., & Harlow, D.B. (2019). No Bones About It: How Digital Fabrication Changes Student Perceptions of their Role in the Classroom. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 9(1), Article 6. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1155>
- Hatch, M. (2013). *The maker movement manifesto*. New York: McGraw-Hill.
- Hayes, S. (2017). Introducing the concept of 'a corresponding curriculum' to transform academic identity and practice. In A. Horsted, J. Branch, & C. Nygaard (Eds.), *Learning centred curriculum design in higher education* (pp. 241-274). Faringdon, UK: Libri.
- Heil, D.R., & Pearson, G., & Burger, S.E. (2013, June), Understanding Integrated STEM Education: Report on a National Study. In *2013 ASEE Annual Conference & Exposition* (pp. 1-15). Atlanta, Georgia. <https://doi.org/10.18260/1-2--22664>
- Henriksen, D., Mishra, P., & Capurro, C.T. (2022). A Sociocultural Perspective on Creativity and Technology: New Synergies for Education. In J.A. Plucker (Ed.), *Creativity and Innovation Theory, Research, and Practice* (pp. 327-346). New York, NY: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003233923-27>
- Hierdeis, H. (2007). From Meno to microlearning: A historical survey. In T. Hug (Ed.), *Didactics of microlearning. Concepts, discourses, and examples* (pp. 35-52). Muenster: Waxmann.
- Himanen, P. (2001). *The Hacker Ethics and the Spirit of the Information Age*. New York, NY: Random House Inc.

- Holbert, N. (2016). Leveraging cultural values and “ways of knowing” to increase diversity in maker activities. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 9-10, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2016.10.002>
- Honey, M., & Kanter, D.E. (2013). *Design, Make, Play: Growing the Next Generation of STEM Innovators*. New York, NY: Routledge.
- Horn, K.J. (2017). *Possibilities in Post-Digital Architecture*. Master of Architecture Thesis, The University of Nebraska-Lincoln. Disponibile in: <http://digitalcommons.unl.edu/archthesis/181> [05.06.2023]
- Horowitz, S.S., & Schultz, P.H. (2014). Printing space: Using 3D printing of digital terrain models in geosciences education and research. *Journal of Geoscience Education*, 62(1), 138-145. <https://doi.org/10.5408/13-031.1>
- Horton, J. (2019). Continuing education and professional development of library staff involved with makerspaces. *Library Hi Tech*, 37(4), 866-882. <https://doi.org/10.1108/LHT-06-2018-0081>
- Hsu, Y.C., Baldwin, S., & Ching, Y.H. (2017). Learning through making and maker education. *TechTrends*, 61(6), 589-594. <https://doi.org/10.1007/s11528-017-0172-6>
- Huang, H.-M., Rauch, U., & Liaw, S.-S. (2010). Investigating learners’ attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach. *Computers & Education*, 55(3), 1171-1182. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.014>
- Ibáñez, M.-B., Di Serio, A., Villarán D., & Delgado Kloos, C. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education*, 71, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.004>
- Iivari, N., Kinnula, M., & Molin-Juustila, T. (2018, June). You have to start somewhere: initial meanings making in a design and making project. In *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children (IDC 2018)* (pp. 80-92). New York, NY: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3202185.3202742>
- INDIRE (2016). *Manifesto 1 + 4 spazi educativi per la scuola del terzo millennio*. Disponibile in: [http://www.indire.it/wp-content/uploads/2016/03/ARC-1603-Manifesto-Italiano\\_LOW.pdf](http://www.indire.it/wp-content/uploads/2016/03/ARC-1603-Manifesto-Italiano_LOW.pdf) [05.06.2023]
- Ioannou, A., & Makridou, E. (2018). Exploring the potentials of educational robotics in the development of computational thinking: A summary of current research and practical proposal for future work. *Education and Information Technologies*, 23(6), 2531-2544. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9729-z>
- Iversen, O.S., Smith, R.C., Blikstein, P., Katterfeldt, E.S., & Read, J.C. (2015). Digital fabrication in education: Expanding the research towards design and reflective practices. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 5, 1-2. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2016.01.001>

- Jandrić, P. (2019). We-Think, We-Learn, We-Act: the Trialectic of Postdigital Collective Intelligence. *Postdigital Science and Education*, 1, 275-279. <https://doi.org/10.1007/s42438-019-00055-w>
- Jandrić, P., & Hayes, S. (2020). Postdigital We-Learn. *Studies in Philosophy and Education*, 39, 285-297. <https://doi.org/10.1007/s11217-020-09711-2>
- Jandrić, P., Knox, J., Besley, T., Ryberg, T., Suoranta, J., & Hayes, S. (2018). Postdigital science and education. *Educational Philosophy and Theory*, 50(10), 893-899. <https://doi.org/10.1080/00131857.2018.1454000>
- Jenkins, H., Clinton, K., Purushotma, R., Robison, A.J., & Weigel, M. (2009). *Confronting the Challenges of Participatory Culture: Media Education for the 21st Century*. MIT Press: Cambridge, MA.
- Johnson, L., Adams Becker, S., Estrada, V., & Freeman, A. (2015). *NMC Horizon Report: 2015 K-12 Edition*. Austin, Texas: The New Media Consortium.
- Kafai, Y.B., Fields, D.A., & Searle, K.A. (2014). Electronic textiles as disruptive designs: Supporting and challenging maker activities in schools. *Harvard Educational Review*, 84(4), 532-556. <https://doi.org/10.17763/haer.84.4.46m7372370214783>
- Kafai, Y.B., Lee, E., Searle, K., Fields, D., Kaplan, E., & Lui, D. (2014). A crafts-oriented approach to computing in high school: Introducing computational concepts, practices, and perspectives with electronic textiles. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 14(1), 1-20. <https://doi.org/10.1145/2576874>
- Kafai, Y.B., & Pepler, K.A. (2014). Transparency Reconsidered: Creative, Critical, and Connected Making with E-textiles. In M. Ratto, & M. Boler (Eds.), *DIY citizenship: Critical making and social media* (pp. 179-188). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kafai, Y.B., & Vasudevan, V. (2015, June). Hi-Lo tech games: crafting, coding and collaboration of augmented board games by high school youth. In *Proceedings of the 14th International Conference on Interaction Design and Children* (pp. 130-139). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2771839.2771853>
- Kajamaa, A., & Kumpulainen, K. (2019). Agency in the making: analyzing students' transformative agency in a school-based makerspace. *Mind, Culture, and Activity*, 26(3), 266-281. <https://doi.org/10.1080/10749039.2019.1647547>
- Kajamaa, A., Kumpulainen, K., & Rajala, A. (2018). A digital learning environment mediating students' funds of knowledge and knowledge creation. *Studia Paedagogica*, 23(4), 49-66. <https://doi.org/10.5817/SP2018-4-3>
- Kapp, K.M. (2012). *The gamification of learning and instruction: game-based methods and strategies for training and education*. San Francisco, CA: Pfeiffer.
- Karppinen, S., Kallunki, V., & Komulainen, K. (2019). Interdisciplinary craft designing and invention pedagogy in teacher education: student teachers creating smart textiles. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(1), 57-74. <https://doi.org/10.1007/s10798-017-9436-x>



- Katterfeldt, E.S., Dittert, N., & Schelhowe, H. (2015). Designing digital fabrication learning environments for Bildung: Implications from ten years of physical computing workshops. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 5, 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2015.08.001>
- Kazakoff, E.R., & Bers, M.U. (2012). Programming in a robotics context in the kindergarten classroom: The impact on sequencing skills. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 21(4), 371-391.
- Kelly, K., Heilbrun, A., & Stacks, B. (1989). Virtual reality: an interview with Jaron Lanier. *Whole Earth Review*, 64, 108-120.
- Kemper, J. (2022). Glitch, the post-digital aesthetic of failure and 21st-century media. *European Journal of Cultural Studies*. <https://doi.org/10.1177/13675494211060537>
- Kerawalla, L., Luckin, R., Seljeflot, S., & Woolard, A. (2006). "Making it real": exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual Reality*, 10, 163-174. <https://doi.org/10.1007/s10055-006-0036-4>
- Khalifa, S., & Brahimi, T. (2017, February). Makerspace: A novel approach to creative learning. In *2017 Learning and Technology Conference (L&T)-The MakerSpace: from Imagining to Making!* (pp. 43-48). IEEE.
- Khanlari, A. (2019). The Use of Robotics for STEM Education in Primary Schools: Teachers' Perceptions. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics* (pp 267-278). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_11)
- Kim, S., Song, K., Lockee, B., & Burton, J. (2018). *Gamification in Learning and Education: Enjoy Learning Like Gaming*. Switzerland: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47283-6>
- Knox, J. (2019). What Does the 'Postdigital' Mean for Education? Three Critical Perspectives on the Digital, with Implications for Educational Research and Practice. *Postdigital Science and Education*, 1, 357-370. <https://doi.org/10.1007/s42438-019-00045-y>
- Kolb, D.A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Komis, V., Romero, M., & Misirli, A. (2017). A Scenario-Based Approach for Designing Educational Robotics Activities for Co-creative Problem Solving. In D. Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti (Eds.), *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 560 (pp 158-169). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9_12)
- Kortuem, G., Kawsar, F., Fitton, D., & Sundramoorthy, V. (2010). Smartobjects as building blocks for the Internet of things. *IEEE Internet Computing*, 14(1), 44-51.
- Krueger, R.A. (2002). *Designing and Conducting Focus Group Interviews*. Disponibile in: <https://www.eiu.edu/ihec/Krueger-FocusGroupInterviews.pdf> [05.06.2023]

- Krueger, R.A., & Casey, M.A. (2015). *Focus groups: A practical guide for applied research* (5th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Kumpulainen, K. (2017), Makerspaces – Why They are Important for Digital Literacy Education. In J. Marsh, K. Kumpulainen, B. Nisha, A. Velicu, A. Blum-Ross, D. Hyatt, S. Jónsdóttir, R. Levy, S. Little, G. Marusteru, M. Ólafsdóttir, K. Sandvik, F. Scott, K. Thestrup, H.C. Arnseth, K. Dýrfjörð, A. Jornet, S.H. Kjartansdóttir, K. Pahl *et al.* (Eds.), *Makerspaces in the Early Years: A Literature Review* (pp. 12-16). Sheffield: University of Sheffield.
- Kumpulainen, K., Kajamaa, A., & Rajala, A. (2018). Understanding educational change: Agency-structure dynamics in a novel design and making environment. *Digital Education Review*, 33, 26-38. <https://doi.org/10.1344/der.2018.33.26-38>
- Kurti, R.S., Kurti, D., & Fleming, L. (2014a). The philosophy of educational makerspaces: Part 1 of Making an Educational Makerspace. *Teacher Librarian*, 41(5), 8-11.
- Kurti, R.S., Kurti, D., & Fleming, L. (2014b). The environment and tools of great educational makerspaces: Part 2 of Making an Educational Makerspace. *Teacher Librarian*, 42(1), 8-12.
- Kvale, S. (2007). Contradictions of assessment for learning in institutions of higher learning. In D. Boud, & N. Falchikov (Eds.), *Rethinking assessment in higher education: Learning for the longer term* (pp. 57-71). Abingdon: Routledge.
- La Paglia, F., Francomano, M., Riva, G., & La Barbera, D. (2018). Educational Robotics to develop executive functions visual spatial abilities, planning and problem-solving. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 16, 80-86.
- Lakind, A., Willett, R., & Halverson, E. R. (2019). Democratizing the Maker Movement: A Case Study of One Public Library System’s Makerspace Program. *Reference & User Services Quarterly*, 58(4), 235-245. <https://doi.org/10.5860/rusq.58.4.7150>
- Lambert, J. (2002). *Digital Storytelling: Capturing lives, creating community*. Berkeley, CA: Berkley Diner Press.
- Langdon, D., McKittrick, G., Beede, D., Khan, B., & Doms, M. (2011, July). *STEM: Good Jobs Now and for the Future*. ESA Issue Brief# 03-11. Washington, DC: U.S. Department of Commerce, Economics and Statistics Administration.
- Laurillard, D. (2012). *Teaching as a Design Science: Building Pedagogical Patterns for Learning and Technology*. London: Routledge.
- Lee, K.T.H., Sullivan, A., & Bers, M.U. (2013). Collaboration by Design: Using Robotics to Foster Social Interaction in Kindergarten. *Computers in the Schools*, 30(3), 271-281. <https://doi.org/10.1080/07380569.2013.805676>
- Leemans, G., & von Ahlefeld, H. (2013). Understanding School Building Policy and Practice in Belgium’s Flemish Community. *OECD Education Working Papers*, No. 92. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5k46h2rtw5mx-en>
- Legewie, J., & DiPrete, T.A. (2014). The high school environment and the gender gap in science and engineering. *Sociology of Education*, 87(4), 259-280. <https://doi.org/10.1177/0038040714547770>



- Lehmann, H., & Rossi, P.G. (2020). Enactive Robot Assisted Didactics (ERAD): The Role of the Maker Movement. In M. Moro, D. Alimisis, & L. Iocchi (Eds.), *Educational Robotics in the Context of the Maker Movement. Edurobotics 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 946 (pp. 16-26). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3_2)
- Leinonen, T., Virnes, M., Hietala, I., & Brinck, J. (2020). 3D Printing in the Wild: Adopting Digital Fabrication in Elementary School Education. *International Journal of Art & Design Education*, 39(3), 600-615. <https://doi.org/10.1111/jade.12310>
- Lin, Y., Tang, X., Hadad, R., & Zhai, X. (2020). Assessing learning in technology-rich maker activities: A systematic review of empirical research. *Computers & Education*, 157, 103944, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103944>
- Lins, A.A., de Oliveira, J.M., Rodrigues, J.J., & de Albuquerque, V.H.C. (2018). Robot-assisted therapy for rehabilitation of children with cerebral palsy-a complementary and alternative approach. *Computers in Human Behavior*, 100, 152-167. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.05.012>
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). *Fabricated: The new world of 3D printing*. Indianapolis: John Wiley & Sons.
- Liu, A. (2004). *The Laws of Cool: Knowledge Work and the Culture of Information*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Lortie, D.C. (1975). *Schoolteacher: A Sociological Study*. Chicago, IL: The University of Chicago.
- Lui, D., Fields, D., & Kafai, Y. (2019). Student maker portfolios: Promoting computational communication and reflection in crafting E-textiles. In P. Blikstein, & N. Holbert (Eds.), *FabLearn'19: Proceedings of the 8th Annual Conference on Creativity and Fabrication in Education* (pp. 10-17). New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/3311890.3311892>
- Lundberg, M., & Rasmussen, J. (2018). Foundational Principles and Practices to Consider In Assessing Maker Education. *i-manager's Journal of Educational Technology*, 14(4), 1-12. <https://doi.org/10.26634/jet.14.4.13975>
- Machi, L.A., & McEvoy, B.T. (2016). *The literature review: Six steps to success*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Malaguzzi, L. (1995). *I cento linguaggi dei bambini*. Bergamo: Edizioni Junior.
- Maloy, R., Trust, T., Kommers, S., LaRoche, I., & Malinowski, A. (2017). 3D modeling and printing in history/social studies classrooms: initial lessons and insights. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 17(2), 229-249. Waynesville, NC: Society for Information Technology & Teacher Education. Disponibile in: [https://www.learntechlib.org/primary/p/173505/\[05.06.2023\]](https://www.learntechlib.org/primary/p/173505/[05.06.2023])
- Mann, S. (2014). Maktivism: Authentic Making for Technology in the Service of Humanity. In M. Ratto, & M. Boler (Eds.), *DIY citizenship: Critical making and social media* (pp. 29-51). Cambridge, MA: MIT Press.

- Manovich, L. (2023). *Cultural Analytics. L'analisi computazionale della cultura*. Milano: Raffaello Cortina Editore.
- Manzo, C., & Ramella, F. (2015). Fab labs in Italy: Collective goods in the sharing economy. *Stato e mercato*, 35(3), 379-418. <https://doi.org/10.1425/81605>
- Marcianò, G. (2007). La robotica quale ambiente di apprendimento. In A. Andronico, & G. Casadei (Eds.), *Atti DIDAMATICA 2007 - Informatica per la didattica*, vol. 1 (pp. 22-33). Bologna: Società Editrice Asterisco.
- Marks, B., & Thomas, J. (2021). Adoption of virtual reality technology in higher education: An evaluation of five teaching semesters in a purpose-designed laboratory. *Education and Information Technologies*, 27, 1287-1305. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10653-6>
- Marsh, J. (2017). Introduction. In J. Marsh, K. Kumpulainen, B. Nisha, A. Velicu, A. Blum-Ross, D. Hyatt, S. Jónsdóttir, R. Levy, S. Little, G. Marusteru, M. Ólafsdóttir, K. Sandvik, F. Scott, K. Thestrup, H.C. Arnseth, K. Dýrfjörð, A. Jornet, S.H. Kjartansdóttir, K. Pahl *et al.* (Eds.), *Makerspaces in the Early Years: A Literature Review* (pp. 6-11). University of Sheffield: MakeY Project.
- Marsh, J., Arnseth, H.C., & Kumpulainen, K. (2018). Maker Literacies and Maker Citizenship in the MakeY (Makerspaces in the Early Years) Project. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(3), 50. <https://doi.org/10.3390/mti2030050>
- Marsh, J., Kumpulainen, K., Nisha, B., Velicu, A., Blum-Ross, A., Hyatt, D., Jónsdóttir, S.R., Levy, R., Little, S., Marusteru, G., Ólafsdóttir, M.E., Sandvic, K., Scott, F., Thestrup, K., Arnseth, H.C., Dýrfjörð, K., Jornet, A., Kjartansdóttir, S.H., Pahl, K. *et al.* (2017). *Makerspaces in the Early Years: A Literature Review*. Sheffield: University of Sheffield.
- Marsh, J., Wood, E., Chesworth, L., Nisha, B., Nutbrown, B., & Olney, B. (2019). Makerspaces in early childhood education: principles of pedagogy and practice. *Mind, Culture, and Activity*, 26(3), 221-223. <https://doi.org/10.1080/10749039.2019.1655651>
- Martin, L. (2015). The promise of the maker movement for education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 5(1), 30-39. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1099>
- Martinez, S.L., & Stager, G. (2013). *Invent to Learn: Making, Tinkering and Engineering in the Classroom*. Torrance, CA: Constructing Modern Knowledge Press.
- Masseroni, M., & Ravotto, P. (Eds.) (2021). LifeComp: il framework delle competenze personali, sociali e di imparare a imparare. *Bricks*, 7, 99-108. Disponibile in: [http://www.rivistabricks.it/wp-content/uploads/2021/12/2021\\_07\\_14\\_Masseroni.pdf](http://www.rivistabricks.it/wp-content/uploads/2021/12/2021_07_14_Masseroni.pdf) [05.06.2023]
- Mavers, D. (2011). *Children's drawing and writing: The remarkable in the unremarkable*. New York, NY: Routledge.
- McLaren, P., & Jandrić, P. (2014). Critical revolutionary pedagogy is made by walking: In a world where many worlds coexist. *Policy Futures in Education*, 12(6), 805-831. <https://doi.org/10.2304/pfie.2014.12.6.805>

- Menichetti, L., & Micheletta, S. (2021). Makerspaces, flexible and inclusive learning environments. A scoping review. *Form@re - Open Journal Per La Formazione in Rete*, 21(2), 78-92. <https://doi.org/10.36253/form-11520>
- Metz, S. (2017). Editor's Corner: Engineering for the Future. *The Science Teacher*, 84(5), 6. Disponibile in: <http://www.jstor.org/stable/26389179> [05.06.2023]
- Mikropoulos, T.A., & Bellou, I. (2013). Educational Robotics as Mindtools. *Themes in Science & Technology Education*, 6(1), 5-14.
- Milligan, S., Hassim, E., Rice, S., & Kheang, T. (2021). *Generating trust and utility in senior secondary certification: Case studies of first movers in their warranting networks*. Learning Creates Australia, Melbourne. Disponibile in: <https://www.learningcreates.org.au/findings/report-generating-trust-and-utility-in-senior-secondary-qualifications> [05.06.2023]
- Misirli, A., Komis, V., & Ravanis, K. (2019). The construction of spatial awareness in early childhood: the effect of an educational scenario-based programming environment. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 13(1), 111-124. <https://doi.org/10.26220/rev.3122>
- MIUR (2015a). *Riforma del sistema nazionale di istruzione e formazione e delega per il riordino delle disposizioni legislative vigenti*. Disponibile in: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2015/07/15/15G00122/sg> [05.06.2023]
- MIUR (2015b). *Piano Nazionale Scuola Digitale*. Disponibile in: [https://www.istruzione.it/scuola\\_digitale/allegati/Materiali/pnsd-layout-30-10-WEB.pdf](https://www.istruzione.it/scuola_digitale/allegati/Materiali/pnsd-layout-30-10-WEB.pdf) [05.06.2023]
- MIUR (2018). *Indicazioni nazionali e nuovi scenari*. Disponibile in: <https://www.miur.gov.it/documents/20182/0/Indicazioni+nazionali+e+nuovi+scenari/> [05.06.2023]
- MIUR (2020). *Valutazione periodica e finale degli apprendimenti delle alunne e degli alunni delle classi della scuola primaria*. Disponibile in: [https://www.istruzione.it/valutazione-scuola-primaria/allegati/ordinanza-172\\_4-12-2020.pdf](https://www.istruzione.it/valutazione-scuola-primaria/allegati/ordinanza-172_4-12-2020.pdf) [05.06.2023]
- Momete, D.C. (2015). Joining economic and engineering perspectives – a tool for successful entrepreneurs. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 180, 395-400. <https://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.02.135>
- Momete, D.C. (2019). A New Vision About The Stimulation Of Stem Education In Romania. In E. Soare, & C. Langa, (Eds.), *Education Facing Contemporary World Issues, vol 67. European Proceedings of Social and Behavioural Sciences* (pp. 481-488). Future Academy. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2019.08.03.57>
- Monem, R., Bennett, K.D., & Barbetta, P.M. (2018). The Effects of Low-Tech and High-Tech Active Student Responding Strategies during History Instruction for Students with SLD. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal*, 16, 87-106.
- Montessori, M. (1914). *Dr. Montessori's own handbook*. New York: Frederick A. Stokes Company Publishers.
- Moro, M., Alimisis, D., & Iocchi, L. (2018). Preface. In M. Moro, D. Alimisis, & L. Iocchi (Eds.), *Educational Robotics in the Context of the Maker Movement*.

- Edurobotics 2018*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 946 (pp. v-vi). Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3>
- Mota, C. (2011, November). The rise of personal fabrication. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Creativity and Cognition* (pp. 279-288). ACM.
- Murai, Y., Kim, Y. J., Martin, E., Kirschmann, P., Rosenheck, L., & Reich, J. (2019). Embedding assessment in school-based making: preliminary exploration of principles for embedded assessment in maker learning. In P. Blikstein, & N. Holbert (Eds.), *FabLearn'19: Proceedings of the 8th Annual Conference on Creativity and Fabrication in Education* (pp. 180-183). New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/3311890.3311922>
- Murai, Y., Kim, Y., Chang, S., & Reich, J. (2020, January 17). *Principles of Embedded Assessment in School-Based Making*. <https://doi.org/10.35542/osf.io/amvs2>
- Napoli, T.M. (2021). Un viaggio a Milano con Nerone, Guendalina, Riccio e Codina e le Bee-Bottine amiche dei cestini. In G. Bozzi, L. Zecca, & E. Datteri (Eds.), *Interazione Bambini-Robot. Riflessioni Teoriche, Risultati Sperimentali, Esperienze* (pp. 323-341). Milano: FrancoAngeli.
- National Association of Colleges and Employers (2018). *The 2018 student survey report*. Disponibile in: <https://www.naceweb.org/store/2018/2018-nace-student-survey-report/> [05.06.2023]
- Negroponete, N. (1998, December 1). Beyond digital. *Wired*, 6(12), 288. Disponibile in: <http://www.wired.com/wired/archive/6.12/negroponete.html> [05.06.2023]
- Nemorin, S., & Selwyn, N. (2017). Making the best of it? Exploring the realities of 3D printing in school. *Research Papers in Education*, 32(5), 578-595. <https://doi.org/10.1080/02671522.2016.1225802>
- Nicol, A.A., Owens, S.M., Le Coze, S.S., MacIntyre, A., & Eastwood, C. (2018). Comparison of high-technology active learning and low-technology active learning classrooms. *Active Learning in Higher Education*, 19(3), 253-265. <https://doi.org/10.1177/1469787417731176>
- Niederhauser, D.S., & Schrum, L. (2016). *Enacting STEM Education for Digital Age Learners: The "Maker" Movement Goes to School*. In *Proceedings of the IADIS International Conference on Cognition & Exploratory Learning in Digital Age (CELDA)* (pp. 357-360). Mannheim, Germany.
- Novy, A. (2012). "Unequal diversity" as a knowledge alliance: An encounter of Paulo Freire's dialogical approach and transdisciplinarity. *Multicultural Education & Technology Journal*, 6(3), 137-148. <https://doi.org/10.1108/17504971211253985>
- Nulli, G. (2021). School Makerspace Manifesto. In D. Scaradozzi, L. Guasti, M. Di Stasio, B. Miotti, A. Monteriù, & P. Blikstein (Eds.), *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments*. Lecture Notes in Networks and Systems, 240 (pp. 65-71). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_9)

- OECD & European Commission. (2017). *The missing entrepreneurs 2017. Policies for Inclusive Entrepreneurship*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264283602-en>
- Okuonghae, O., & Nkiko, C. (2021). Makerspaces: The Next Generation Library Tool for Capacity Building in Developing Countries. *International Journal of Library and Information Services (IJLIS)*, 10(2), 1-9. <https://doi.org/10.4018/IJLIS.20210701.0a15>
- ONU (2015). *Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*. Disponibile in: <https://unric.org/it/wp-content/uploads/sites/3/2019/11/Agenda-2030-Onu-italia.pdf> [05.06.2023]
- Openshaw, J. (2015) *Postdigital Artisans: Craftsmanship with a New Aesthetic in Fashion, Art, Design and Architecture*. Amsterdam: Frame Publishers.
- Panadero, E., Brown, G.T., & Strijbos, J.-W. (2016). The future of student self-assessment: a review of known unknowns and potential directions. *Educational Psychology Review*, 28(4), 803-830. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9350-2>
- Panciroli, C. & Rivoltella, P.C. (2023). *Pedagogia algoritmica. Per una riflessione educativa sull'Intelligenza Artificiale*. Brescia: Scholé.
- Paoletta, F. (2013). La pedagogia di Loris Malaguzzi. Per una storia del Reggio Emilia approach. *Rivista sperimentale di freniatria. La rivista dei servizi di salute mentale*, CXXXVII, 1, 95-112. Milano: FrancoAngeli. <https://doi.org/10.3280/RSF2013-001006>
- Papavaslopoulou, S., Giannakos, M.N., & Jaccheri, L. 2017. Empirical studies on the Maker Movement, a promising approach to learning: A literature review. *Entertainment Computing*, 18, 57-78. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2016.09.002>
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York, NY: Basic Books, Inc.
- Papert, S. (1983). Talking Turtle. Horizon, Part 1 – 02:48 to 03:10. BBC and the Open University.
- Papert, S. (1984). New theories for new learnings. *School Psychology Review*, 13(4), 422-428.
- Papert, S. (1986). Constructionism: A new opportunity for elementary science education. *Proposal to the National Science Foundation*. Cambridge, MA: MIT Media laboratory.
- Papert, S., & Harel, I. (1991). *Constructionism*. New York, NY: Ablex Publishing Corporation.
- Pastorelli, C., & Picconi, L. (2001). Scala di Autoefficacia Scolastica Percepita. In G.V. Caprara (Ed.), *La valutazione dell'autoefficacia. Costrutti e strumenti* (pp. 89-92). Trento: Erickson.
- Pellerey, M. (2004). *Le competenze individuali e il portfolio*. Roma: La Nuova Italia.
- Pennazio, V., & Fedeli, L. (2019). A proposal to act on Theory of Mind by applying robotics and virtual worlds with children with ASD. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 15(2), 59-75. <https://doi.org/10.20368/1971-8829/1632>

- Pepperell, R., & Punt, M. (2000). *The postdigital membrane: Imagination, technology and desire*. Bristol: Intellect Books.  
<https://doi.org/10.13140/2.1.4499.4241>
- Peppler, K. (2022). Makerspaces. Supporting Creativity and Innovation by Design. In J.A. Plucker (Ed.), *Creativity and Innovation Theory, Research, and Practice: Theory, Research, and Practice* (2nd ed.) (pp. 265-274). Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9781003233923-22>
- Peppler, K., & Bender, S. (2013). Maker movement spreads innovation one project at a time. *Kappan*, 95(3), 22-27. <https://doi.org/10.1177/003172171309500306>
- Peppler, K., Halverson, E., & Kafai, Y.B. (Eds.). (2016). *Makeology: Makerspaces as learning environments* (1st ed.). New York, NY: Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9781315726519>
- Peppler, K., Keune, A., Xia, F., & Chang, S. (2018). *Survey of assessment in makerspaces*. Disponibile in: [https://makered.org/wp-content/uploads/2018/02/MakerEdOPP\\_RB17\\_Survey-of-Assessments-in-Makerspaces.pdf](https://makered.org/wp-content/uploads/2018/02/MakerEdOPP_RB17_Survey-of-Assessments-in-Makerspaces.pdf) [05.06.2023]
- Petrich, M., Wilkinson, K., & Bevan, B. (2013). It looks like fun, but are they learning?. In M. Honey, & D.E. Kanter (Eds.), *Design. Make. Play. Growing the Next Generation of STEM Innovators* (pp. 50-70). New York: Routledge.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *L'immagine mentale chez l'enfant*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Pinto, R.D., Peixoto, B., Melo, M., Cabral, L., & Bessa, M. (2021). Foreign Language Learning Gamification Using Virtual Reality - A Systematic Review of Empirical Research. *Education Sciences*, 11(5), 222.  
<https://doi.org/10.3390/educsci11050222>
- Plucker, J.A., Meyer, M.S., Karami, S., & Ghahremani, M. (2023). Room to Run: Using Technology to Move Creativity into the Classroom. In D. Henriksen & P. Mishra (Eds.), *Creative Provocations: Speculations on the Future of Creativity, Technology & Learning*. Creativity Theory and Action in Education, 7 (pp. 65-80). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14549-0_5)
- Ranieri, M. (2021). Making to Learn. The Pedagogical Implications of Making in a Digital Binary World. In D. Scaradozzi, L. Guasti, M. Di Stasio, B. Miotti, A. Monteriù, & P. Blikstein (Eds.), *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments*. Lecture Notes in Networks and Systems, 240 (pp. 81-85). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_11)
- Rasalingam, R.R., Muniandy, B., & Rass, R. (2014). Exploring the Application of Augmented Reality Technology in Early Childhood Classroom in Malaysia. *Journal of Research & Method in Education (IOSR-JRME)*, 4(5), 33-40.  
<https://doi.org/10.9790/7388-04543340>
- Ratto, M. (2011). Critical making: Conceptual and material studies in technology and social life. *The information society*, 27(4), 252-260.  
<https://doi.org/10.1080/01972243.2011.583819>



- Rayna, T., & Striukova, L. (2021). Fostering skills for the 21st century: The role of Fab labs and makerspaces. *Technological Forecasting and Social Change*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120391>
- Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. Punie, Y. (Ed.). EUR 28775 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/159770>
- Repetto, M. (2020). La Maker Education come movimento a contrasto della povertà educativa. *QTimes – webmagazine*, Anno XII - n. 4, 204-213.
- Resnick, M. (2017). *Lifelong kindergarten: Cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*. Cambridge, MA: MIT press.
- Rivoltella, P.C. (2013). *Fare didattica con gli EAS. Episodi di Apprendimento Situato*. Brescia: ELS La scuola.
- Rivoltella, P.C. (2018). *Un'idea di scuola*. Brescia: Scholé.
- Rivoltella, P.C. & Rossi, P.G. (2019). *Il corpo e la macchina. Tecnologia, cultura, educazione*. Brescia: Scholé.
- Robbins, P.N., & Smith, S. (2016). Robo/graphy: Using Practical Arts-Based Robots to Transform Classrooms Into Makerspaces. *Art Education*, 69(3), 44-51.
- Rogers, S.L. (2020). Cheap, accessible, and virtual experiences as tools for immersive study: a proof of concept study. *Research in Learning Technology*, 28, 1-15. <https://doi.org/10.25304/rlt.v28.2416>
- Romero, M., & Dupont, Y. (2016). Educational robotics: from procedural learning to co-creative project oriented challenges with LEGO WeDo. In L. Gómez Chova, A. López Martínez, & I. Candel Torres (Eds.), *EDULEARN16 Proceedings* (pp. 6159-6163). Valencia: IATED Academy. <https://doi.org/10.21125/EDULEARN.2016.0318>
- Rosa, P., Ferretti, F., Guimarães Pereira, Â., Panella, F., & Wanner, M. (2017). *Overview of the Maker Movement in the European Union* (Issue December). Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/227356>
- Rosa, P., Guimaraes Pereira, Â., & Ferretti, F. (2018). *Futures of Work: Perspectives from the Maker Movement*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/96812>
- Rosenheck, L., Lin, G.C., Nigam, R., Nori, P., & Kim, Y.J. (2021). Not all evidence is created equal: assessment artifacts in maker education. *Information and Learning Sciences*, 122(3/4), 171-198. <https://doi.org/10.1108/ILS-08-2020-0205>
- Rossi, P.G. (2023). *Learning by doing nel post-digitale. In rete: Progettazione come azione simulata*. Disponibile in: <https://progettazionecomeazione.blogspot.com/2023/06/learning-by-doing-nel-post-digitale.html> [05.06.2023]
- Rossi, P.G. & Pentucci, M. (2021). *La progettazione come azione simulata. Didattica dei processi e degli eco-sistemi*. Milano: Franco Angeli.

- Rossi, P.G. (2011). *Didattica Enattiva. Complessità, teorie dell'azione, professionalità docente*. Milano: FrancoAngeli.
- Rossi, P.G., Giannandrea, L., Gratani, F., Laici, C., Tarantino, A., & Paviotti, G. (2021). Assessment as learning: transforming practices with secondary school teachers. In L. Gómez Chova, A. López Martínez, & I. Candel Torres (Eds.), *ICERI2021 Proceedings* (pp. 6543-6551). Valencia: IATED Academy. <http://dx.doi.org/10.21125/iceri.2021.1483>
- Rothwell, J. (2014). *Still Searching: Job Vacancies and STEM Skills*. Washington, DC: Brookings Institution. Disponibile in: <https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2014/07/Job-Vacancies-and-STEM-Skills.pdf> [05.06.2023]
- Royal Academy of Engineering (2017). *Closing the STEM skills gap*. Disponibile in: <https://raeng.org.uk/media/uynfshhk/closing-the-stem-skills-gap.pdf> [05.06.2023]
- Ryberg, T., Davidsen, J., & Hodgson, V. (2018). Understanding nomadic collaborative learning groups. *British Journal of Educational Technology*, 49(2), 235-247. <https://doi.org/10.1111/bjet.12584>
- Saettoni, L., Bogliolo, M., & Micheli, E. (2020). We are the Makers, tutti inclusi: Internet of Things e stampa 3D per la comunità e la didattica (anche a distanza). In G. Adorni, A. De Lorenzo, L. Manzoni, & E. Medvet (Eds.), *Atti Convegno Nazionale Didattica 2020* (pp. 117-126). Milano: AICA.
- Sagbauer, N.N., & Ebner, M. (2021). Developing a Taxonomy Concerning Physical Existing Makerspaces in and Used by Schools. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 11(2), 57-68. <https://doi.org/10.3991/ijep.v11i2.17021>
- Sala, A., Punie, Y., Garkov, V., & Cabrera Giraldez, M. (2020). *LifeComp: The European Framework for Personal, Social and Learning to Learn Key Competence*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/922681>
- Sambell, K., McDowell, L., & Montgomery, C. (2013). *Assessment for learning in higher education*. Abingdon: Routledge.
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM Education, STEMmania. *The Technology Teacher*, 68, 20-26. Disponibile in: <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/51616/STEMmania.pdf?sequence> [05.06.2023]
- Saorín, J.L., Melian-Díaz, D., Bonnet, A., Carbonell Carrera, C., Meier, C., & de La Torre-Cantero, J. (2017). Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students. *Thinking Skills and Creativity*, 23, 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2017.01.004>
- Scaradozzi, D., Cesaretti, L., Screpanti, L., Costa, D., Zingaretti, S., & Valzano, M. (2019). Innovative Tools for Teaching Marine Robotics, IoT and Control Strategies Since the Primary School. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 199-227). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_8)



- Scaradozzi, D., Screpanti, L., & Cesaretti, L. (2019). Towards a Definition of Educational Robotics: A Classification of Tools, Experiences and Assessments. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 63-92). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_3)
- Scaradozzi, D., Sorbi, L., Pedale, A., Valzano, M., & Vergine, C. (2015). Teaching Robotics at the Primary School: An Innovative Approach. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 3838-3846. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.1122>
- Schneegans, S., Lewis, J., & Straza, T. (Eds.). (2021). *UNESCO Science Report: the Race Against Time for Smarter Development – Executive Summary*. UNESCO Publishing: Paris.
- Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner*. New York, NY: Basic Books.
- Bruni, F. (2019). Dall'edutainment alla gamification. In P.C. Rivoltella & P.G. Rossi (Eds.), *Tecnologie per l'educazione* (pp. 239-248). Milano: Pearson.
- Schön, S., Ebner, M., & Grandl, M. (2020). Designing a Makerspace for Children – Let's Do It. In M. Moro, D. Alimisis, & L. Iocchi (Eds.), *Educational Robotics in the Context of the Maker Movement. Edurobotics 2018*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 946 (pp. 3-15). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3_1)
- Schön, S., Ebner, M., & Kumar, S. (2014). The maker movement. Implications of new digital gadgets, fabrication tools and spaces for creative learning and teaching. *eLearning Papers*, 39, 14-25.
- Schön, S., Rosenova, M., Ebner, M., & Grandl, M. (2020). How to Support Girls' Participation at Projects in Makerspace Settings. Overview on Current Recommendations. In M. Moro, D. Alimisis, & L. Iocchi (Eds.), *Educational Robotics in the Context of the Maker Movement. Edurobotics 2018*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 946 (pp. 193-196). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3_15)
- Schutera, S., Schnierle, M., Wu, M., Pertzel, T., Seybold, J., Bauer, P., Teutscher, D., Raedle, M., Heß-Mohr, N., Röck, S., & Krause, M.J. (2021). On the Potential of Augmented Reality for Mathematics Teaching with the Application cleARmaths. *Education Sciences*, 11(8), 368. <https://doi.org/10.3390/educsci11080368>
- Screpanti, L. (2020). *Study, assessment and identification of Educational Robotics experiences at school*. PhD dissertation. Ancona: Università Politecnica delle Marche.
- Screpanti, L., Cesaretti, L., Storti, M., & Scaradozzi, D. (2021). Educational Robotics and Social Relationships in the Classroom. In D. Scaradozzi, L. Guasti, M. Di Stasio, B. Miotti, A. Monteriù, & P. Blikstein (Eds.), *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments*. Lecture Notes in Networks and Systems, 240 (pp. 195-201). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_26)
- Screpanti, L., Miotti, B., & Monteriù, A. (2021). Robotics in Education: A Smart and Innovative Approach to the Challenges of the 21st Century. In D. Scaradozzi, L.

- Guasti, M. Di Stasio, B. Miotti, A. Monteriù, & P. Blikstein (Eds.), *Makers at School, Educational Robotics and Innovative Learning Environments*. Lecture Notes in Networks and Systems, 240 (pp. 17-26). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_3)
- Sennett, R. (2008). *The Craftsman*. New Haven: Yale University Press.
- Shelley, J.P., & Satterfield, F., & Borah, R., & Ladner, M.D. (2016, June). The Student-led Development, Design, and Implementation of an Interdisciplinary Makerspace. In *2016 ASEE Annual Conference & Exposition*. New Orleans, Louisiana. <https://doi.org/10.18260/p.27023>
- Shelton, B., & Hedley, N. (2002). Using augmented reality for teaching earth-sun relationships to undergraduate geography students. In *The First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*. IEEE: Darmstadt, Germany. <http://dx.doi.org/10.1109/ART.2002.1106948>
- Sheridan, K., Halverson, E. R., Litts, B., Brahms, L., Jacobs-Priebe, L., & Owens, T. (2014). Learning in the making: a comparative case study of three makerspaces. *Harvard Educational Review*, 84(4), 505-531. <https://doi.org/10.17763/haer.84.4.br34733723j648u>
- Shute, V.J., Ventura, M., Bauer, M., & Zapata-Rivera, D. (2009). Melding the Power of Serious Games and Embedded Assessment to Monitor and Foster Learning: Flow and Grow. In U. Ritterfeld, M. Cody, & P. Vorderer (Eds.), *Serious games: Mechanisms and effects* (pp. 295-321). New York: Routledge.
- Sibilio, M. (2015). La funzione orientativa della didattica semplessa. *Pedagogia Oggi*, 1, 327-334.
- Skinner, B.F. (1968). *The technology of teaching*. New York, NY: Appleton-Century-Crofts.
- Smith, R.C., Iversen, O.E., & Hjorth, M. (2015). Design thinking for digital fabrication in education. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 5, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2015.10.002>
- Somanath, S., Oehlberg, L., Hughes, J., Sharlin, E., & Costa Sousa, M. (2017). 'Maker' within Constraints: Exploratory Study of Young Learners using Arduino at a High School in India. In *Proceedings of the Human Factors in Computing Systems (CHI'17)* (pp. 96-108). New York, NY: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025849>
- Soroko, N.V., Soroko, V.M., Mukasheva, M., Ariza Montes, M.M., & Tkachenko, V.A. (2021). Using of virtual reality tools for the development of steam education in general secondary education. *Information Technologies and Learning Tools*, 86(6), 87-105. <http://dx.doi.org/10.33407/itlt.v86i6.4749>
- Spiller, N. (2009). Plectic architecture: Towards a theory of the post-digital in architecture. *Technoetic Arts: A Journal of Speculative Research*, 7(2), 95-104. <https://doi.org/10.1386/tear.7.2.95/1>
- Squire, K.D., & Jan, M. (2007). Mad City Mystery: Developing Scientific Argumentation Skills with a Place-based Augmented Reality Game on Handheld

- Computers. *Journal of Science Education and Technology*, 16, 5-29. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9037-z>
- Steenhuis, H. & De Bruijn, E.J. (2006). High technology revisited: definition and position. In *2006 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology* (Vol. 2, pp. 1080-1084). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICMIT.2006.262389>
- Stetsenko, A. (2009). Teaching–learning and development as activist projects of historical Becoming: Expanding Vygotsky’s approach to pedagogy. *Pedagogies: An International Journal*, 5(1), 6-16. <https://doi.org/10.1080/15544800903406266>
- Stiggins, R.J. (2002). Assessment crisis: the absence of assessment FOR learning. *Phi Delta Kappan*, 83(10), 758-765. <https://doi.org/10.1177/003172170208301010>
- Sullivan, A., & Bers, M.U. (2016). Robotics in the Early Childhood Classroom: Learning Outcomes from an 8-Week Robotics Curriculum in Pre-kindergarten Through Second Grade. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(1), 3-20. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9304-5>
- Sülter, R.E., Ketelaar, P.E., & Lange, W.-G. (2022). SpeakApp-Kids! Virtual reality training to reduce fear of public speaking in children – A proof of concept. *Computers & Education*, 178, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104384>
- Sun, K.T., & Chen, M.H. (2020). Utilizing MAR for Remedial Teaching of Compound-Cube-Surface Area at Elementary School in Taiwan. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, 16(2), 18-35. <http://doi.org/10.4018/IJICTE.2020040102>
- Tabarés, R. (2018). La importancia de la cultura tecnológica en el movimiento maker. *Arbor*; 194(789), e471. <https://doi.org/10.3989/arbor.2018.789n3013>
- Tabarés, R., & Boni, A. (2022). Maker culture and its potential for STEM education. *International Journal of Technology and Design Education*. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09725-y>
- Tan, J.T.C., Iocchi, L., Eguchi, A., & Okada, H. (2019). Bridging robotics education between high school and university: RoboCup@Home education. In *IEEE AFRICON 2019* (pp. 1-4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AFRICON46755.2019.9133791>
- Tan, M.C.C., Chye, S.Y.L., & Teng, K.S.M. (2022). “In the shoes of another”: immersive technology for social and emotional learning. *Education and Information Technologies*, 27, 8165-8188. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10938-4>
- Taylor, B. (2016). Evaluating the Benefit of the Maker Movement in K-12 STEM Education, *Electronic International Journal of Education, Arts, and Science*, 2, 1-22.
- The European Parliament (2019). *REPORT on a comprehensive European industrial policy on artificial intelligence and robotics* (2018/2088(INI)). Disponibile in:

[https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2019-0019\\_EN.html](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-8-2019-0019_EN.html)  
[05.06.2023]

- The University of Sheffield (2021). *Types of Makerspaces in Schools*. Disponibile in: <https://www.futurelearn.com/info/courses/makerspaces-for-learning/0/steps/225499> [05.06.2023]
- Tomkin, J.H., Beilstein, S.O., Morphew, J.W., & Herman, G.L. (2019). Evidence that communities of practice are associated with active learning in large STEM lectures. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0154-z>
- Traverso, A., & Pennazio, V. (2013). Bambini, robot: esperienze educative di gioco e relazione. *RELAdeI – Revista Latinoamericana de Educación Infantil*, 3(2), 189-205.
- Trust, T., & Maloy, R.W. (2017). Why 3D print? The 21st-century skills students develop while engaging in 3D printing projects. *Computers in the Schools*, 34(4), 253-266. <https://doi.org/10.1080/07380569.2017.1384684>
- Trust, T., Maloy, R.W., & Edwards, S. (2018). Learning through Making: Emerging and Expanding Designs for College Classes. *TechTrends* 62, 19-28. <https://doi.org/10.1007/s11528-017-0214-0>
- Tsvitanidou, O. E., Georgiou, Y., & Ioannou, A.A. (2021). Learning Experience in Inquiry-Based Physics with Immersive Virtual Reality: Student Perceptions and an Interaction Effect Between Conceptual Gains and Attitudinal Profiles. *Journal of Science Education and Technology*, 30, 841-861. <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09924-1>
- Turkle, S., & Papert, S. (1992). Epistemological pluralism and the revaluation of the concrete. In I. Harel, & S. Papert (Eds.), *Constructionism* (pp. 161-192). Westport, CT: Ablex.
- Twyman, J.S., & Heward, W.L. (2016). How to improve student learning in every classroom now. *International Journal of Education Research*, 87, 78-90. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2016.05.007>
- Unfried, A., Faber, M., Stanhope, D.S., & Wiebe, E. (2015). The Development and Validation of a Measure of Student Attitudes Toward Science, Technology, Engineering, and Math (S-STEM). *Journal of Psychoeducational Assessment*, 33(7), 622-639. <https://doi.org/10.1177/0734282915571160>
- United States Department of Education (2016). *STEM 2026: A Vision for Innovation in STEM Education*. Washington, DC: Office of Innovation and Improvement. Disponibile in: [https://oese.ed.gov/files/2016/09/AIR-STEM2026\\_Report\\_2016.pdf](https://oese.ed.gov/files/2016/09/AIR-STEM2026_Report_2016.pdf) [05.06.2023]
- Van Zundert, M., Sluijsmans, D., & Van Merriënboer, J. (2010). Effective peer assessment processes: research findings and future directions. *Learning and Instruction*, 20(4), 270-279. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.08.004>
- Varela, F., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Verganti, R. (2008). Design, Meanings, and Radical Innovation: A Metamodel and a Research Agenda. *Journal of Product Innovation Management*, 25, 5, 436-456. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2008.00313.x>
- Verganti, R. (2018). *Overcrowded*. Boston: MIT Press.
- Vianna, E., & Stetsenko, A. (2014). Research with a Transformative Activist Agenda: Creating the Future through Education for Social Change. *Teachers College Record*, 116(14), 575-602. <https://doi.org/10.1177/016146811411601412>
- Vinatier, I. (2013). *Le travail de l'enseignant. Une approche par la didactique professionnelle*. Bruxelles: DeBoeck.
- von Hippel, E. (2005). *Democratizing innovation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Vongkulluksn, V.W., Matewos, A.M., Sinatra, G.M., & Marsh, J.A. (2018). Motivational factors in makerspaces: a mixed methods study of elementary school students' situational interest, self-efficacy, and achievement emotions. *International Journal of Stem Education*, 5(1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0129-0>
- Vossoughi, S., Hooper, P.K., & Escudé, M. (2016). Making through the lens of culture and power: Toward transformative visions for educational equity. *Harvard Educational Review*, 86(2), 206-232. <https://doi.org/10.17763/0017-8055.86.2.206>
- Vuopala, E., Guzmán Medrano, D., Aljabaly, M., Hietavirta, D., Malacara, L., & Pan, C. (2020). Implementing a maker culture in elementary school—students' perspectives. *Technology, Pedagogy and Education*, 29(5), 649-664. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1796776>
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Walker, W.S., Moore, T. J., Guzey, S.S., & Sorge, B.H. (2018). Frameworks to develop integrated STEM curricula. *K-12 STEM Education*, 4(2), 331-339. <http://dx.doi.org/10.14456/k12stemed.2018.14>
- Wang, T.H., Lim, K.Y.T., Lavonen, J., & Clark-Wilson, A. (2019). Maker-Centred Science and Mathematics Education: Lenses, Scales and Contexts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-09999-8>
- Wilson, M., & Sloane, K. (2000). From principles to practice: An embedded assessment system. *Applied measurement in education*, 13(2), 181-208. [https://doi.org/10.1207/S15324818AME1302\\_4](https://doi.org/10.1207/S15324818AME1302_4)
- Wohlwend, K. (2008). Play as a literacy of possibilities: Expanding meaning in practices, materials, and spaces. *Language Arts*, 86(2), 127-136.
- Wood, E., Nuttall, J., Edwards, S., & Grieshaber, S. (2019). Young children's digital play in early childhood settings: Curriculum, pedagogy and teachers' knowledge. In O. Erstad, R. Flewitt, B. Kümmerling-Meibauer, & Í.P. Pereira (Eds.), *The Routledge Handbook of Digital Literacies in Early Childhood* (pp. 214-226). <https://doi.org/10.4324/9780203730638>

- World Economic Forum (2015). *New Vision for Education. Unlocking the Potential of Technology*. Geneva: World Economic Forum. Disponibile in: [https://www3.weforum.org/docs/WEFUSA\\_NewVisionforEducation\\_Report2015.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_NewVisionforEducation_Report2015.pdf) [05.06.2023]
- Xenos, M., Yiannoutsou, N., Grizioti, M., Kynigos, C., & Nikitopoulou, S. (2017). Learning Programming with Educational Robotics: Towards an Integrated Approach. In D. Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti (Eds.), *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 560 (pp. 215-222). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9_17)
- Yelland, N., & Arvantis, E. (2018). Transformative pedagogies in early childhood education. *Global Studies of Childhood*, 8(2), 111-113. <https://doi.org/10.1177/1463949117734979>
- Yokana, L. (2015). *Creating an Authentic Maker Education Rubric*. Disponibile in: <https://www.edutopia.org/blog/creating-authentic-maker-education-rubric-lisa-yokana> [05.06.2023]
- Zeng, W., Huang, F., Yu, L., & Chen, S. (2018). Towards a learning-oriented assessment to improve students' learning – a critical review of literature. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 30, 211-250. <https://doi.org/10.1007/s11092-018-9281-9>
- Zhang, X., & Hung, S.-chiu. (2007). Integration of the High-tech and Low-tech in Distance Teacher Training in China: An insight from the case of Jiangsu Radio and Television University. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 8(1), 1-14. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v8i1.336>

---

*Media e tecnologie per la didattica*  
Open Access - diretta da P.C. Rivoltella, P.G. Rossi

---

*Ultimi volumi pubblicati:*

CLAUDIA BELLINI, *L'Educatore Digitale in sanità*. Co-progettare la formazione continua online (E-book).

LUISA ZECCA, EDOARDO DATTERI (a cura di), *Inclusive Science Education and Robotics. Studies and Experiences* (E-book).

MARIO GIAMPAOLO, *Problem based learning on-line*. Modelli, strumenti e casi per lo sviluppo professionale (E-book).

GILDA BOZZI, EDOARDO DATTERI, LUISA ZECCA (a cura di), *Interazione bambini-robot*. Riflessioni teoriche, risultati sperimentali, esperienze (E-book).

HAGEN LEHMANN, *Social Robots for Enactive Didactics* (E-book).

FABIO NASCIMBENI, *Open Education*. Oer, mooc e pratiche didattiche aperte verso l'inclusione digitale educativa (E-book).

VALERIA PIRAS, MARIA CECILIA REYES, GUGLIELMO TRENTIN, *Come disegnare un corso online*. Criteri di progettazione didattica e della comunicazione (E-book).

GIUSI ANTONIA TOTO, *Expertise docente*. Teorie, modelli didattici e strumenti innovativi (E-book).

PAOLO FEDERIGHI, MARIA RANIERI, GIANFRANCO BANDINI (a cura di), *Digital scholarship tra ricerca e didattica*. Studi, ricerche, esperienze (E-book).

ALESSANDRO SORIANI, *Sottobanco*. L'influenza delle tecnologie sul clima di classe (E-book).

LAURA FEDELI, *La ricerca scientifica al tempo dei social media* (E-book).

PIER GIUSEPPE ROSSI, LORELLA GIANNANDREA (a cura di), *Technologies and trust* (E-book).

STEFANO DI TORE, *La tecnologia della parola*. Didattica inclusiva e lettura (E-book).

ROSARIA PACE, GIUSEPPINA RITA JOSE MANGIONE, PIERPAOLO LIMONE (a cura di), *Educazione e mondo del lavoro*. Figure di accompagnamento e potenzialità delle nuove tecnologie nei servizi di bilancio delle competenze e nell'orientamento professionale (E-book).

ROSARIA PACE, GIUSEPPINA RITA JOSE MANGIONE, PIERPAOLO LIMONE (a cura di), *Dimensione didattica, tecnologica e organizzativa*. La costruzione del processo di innovazione a scuola (E-book).

---

*Media e tecnologie per la didattica*  
diretta da P.C. Rivoltella, P.G. Rossi

---

*Ultimi volumi pubblicati:*

PIER CESARE RIVOLTELLA, *La scala e il tempio*. Metodi e strumenti per costruire Comunità con le Tecnologie (disponibile anche in e-book).

CHIARA PANCIROLI (a cura di), *Animazione digitale per la didattica*.

LAURA CORAZZA, *Apprendere con i video digitali*. Per una formazione online aperta a tutti.

DIANA LAURILLARD, *Insegnamento come scienza della progettazione*. Costruire modelli pedagogici per apprendere con le tecnologie (disponibile anche in e-book).

LUCA FERRARI, *Il digitale a scuola*. Per una implementazione sostenibile (disponibile anche in e-book).

LAURA FEDELI, *Embodiment e mondi virtuali*. Implicazioni didattiche (disponibile anche in e-book).

GIANMARIA OTTOLINI, PIER CESARE RIVOLTELLA (a cura di), *Il tunnel e il kayak*. Teoria e metodo della peer & media education (disponibile anche in e-book).

CRISTINA GAGGIOLI, *La classe oltre le mura*. Gamificare per includere.

ANNA DIPACE, ALBERTO FORNASARI, MARTA DE ANGELIS (a cura di), *Il post digitale*. Società, culture, didattica.

PIER GIUSEPPE ROSSI, MAILA PENTUCCI, *Progettazione come azione simulata*. Didattica dei processi e degli eco-sistemi (disponibile anche in e-book).

FILIPPO BRUNI, ANDREA GARAVAGLIA, LIVIA PETTI (a cura di), *Media education in Italia*. Oggetti e ambiti della formazione (disponibile anche in e-book).

VITTORIO MIDORO (a cura di), *La scuola ai tempi del digitale*. Istruzioni per costruire una scuola nuova (disponibile anche in e-book).

CHIARA LAICI, *Il feedback come pratica trasformativa nella didattica universitaria* (E-book).

PIER CESARE RIVOLTELLA (a cura di), *Smart future*. Teaching, Digital Media and Inclusion (E-book).

PIER CESARE RIVOLTELLA (a cura di), *Smart Future*. Didattica, media digitali e inclusione (disponibile anche in e-book).



Questo   
**LIBRO**

 ti è piaciuto?

---

**Comunicaci il tuo giudizio su:**  
[www.francoangeli.it/opinione](http://www.francoangeli.it/opinione)



**VUOI RICEVERE GLI AGGIORNAMENTI  
SULLE NOSTRE NOVITÀ  
NELLE AREE CHE TI INTERESSANO?**



ISCRIVITI ALLE NOSTRE NEWSLETTER

SEGUICI SU:



---

**FrancoAngeli**

La passione per le conoscenze

Copyright © 2023 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy. ISBN 9788835153641

# FrancoAngeli

## a strong international commitment

Our rich catalogue of publications includes hundreds of English-language monographs, as well as many journals that are published, partially or in whole, in English.

The **FrancoAngeli**, **FrancoAngeli Journals** and **FrancoAngeli Series** websites now offer a completely dual language interface, in Italian and English.

Since 2006, we have been making our content available in digital format, as one of the first partners and contributors to the **Torrossa** platform for the distribution of digital content to Italian and foreign academic institutions. **Torrossa** is a pan-European platform which currently provides access to nearly 400,000 e-books and more than 1,000 e-journals in many languages from academic publishers in Italy and Spain, and, more recently, French, German, Swiss, Belgian, Dutch, and English publishers. It regularly serves more than 3,000 libraries worldwide.

*Ensuring international visibility and discoverability for our authors is of crucial importance to us.*

---

# FrancoAngeli



**torrossa**  
Online Digital Library

Il volume mira a delineare un background teorico relativo alla *Maker Culture* e agli scenari emergenti nell'ambito delle tecnologie per l'educazione nell'era post digitale. Sono trattate le tematiche relative alla nascita e alle peculiarità del *Maker Movement* e della *Maker Education* e la loro diffusione nel panorama nazionale e internazionale tramite le varie tipologie di makerspace e iniziative avviate; la nascita e l'espansione della *STE(A)M Education*, in stretta connessione con la prima per intenti e rilevanza; il concetto di post-digitale; il contributo delle *low e high technologies*, con particolare attenzione alla robotica educativa; l'apporto della *digital fabrication*, della stampa 3D e della *Virtual e Augmented Reality*, ripercorrendo la loro evoluzione e i loro tratti distintivi per cogliere le potenzialità offerte nel contesto scolastico.

A partire da tale background, si presenteranno alcune esperienze e studi di caso basati sulla *Maker Education* e condotti a livello internazionale, per poi descrivere un progetto pilota sperimentato recentemente in Italia e volto ad integrare l'approccio Maker nel curriculum scolastico di scuola primaria e secondaria di primo grado. Il lavoro si propone di porre in evidenza luci e ombre, potenzialità e sfide di un approccio innovativo e "trasformativo" della didattica tradizionale, individuando nuove piste di lavoro nella ricerca in ambito educativo e proponendo, al contempo, future direzioni da perseguire ed indagare.

**Francesca Gratani** è assegnista di ricerca e cultrice della materia in Didattica e Pedagogia Speciale presso il Dipartimento di Scienze della Formazione, dei Beni Culturali e del Turismo dell'Università degli Studi di Macerata. La sua ricerca verte su *Maker Education*, robotica educativa, valutazione formativa e professionalizzazione degli insegnanti. Ha pubblicato diversi articoli su riviste di fascia A nazionali e internazionali.

 **FrancoAngeli**  
La passione per le conoscenze

MEDIA  
E  
TECNOLOGIE  
PER  
LA  
DIDATTICA