



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MACERATA

**CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN
FORMAZIONE, PATRIMONIO CULTURALE E TERRITORI**

CICLO XXXV

TITOLO DELLA TESI

Make it happen.

L'approccio Maker per ripensare l'educazione nell'era post-digitale

SUPERVISORE DI TESI

Chiar.ma Prof.ssa Lorella Giannandrea

DOTTORANDO

Dott.ssa Francesca Gratani

COORDINATORE

Chiar.ma Prof.ssa Anna Ascenzi

ANNO 2023



*The biggest challenge and the biggest opportunity for the Maker Movement
is to transform education.
My hope is that the agents of change will be the students themselves.*

Dale Dougherty

Indice

Introduzione	6
1. La Maker Culture	12
1. Il Maker Movement	12
2. L'approccio educativo: la Maker Education	16
3. I Makerspace	22
3.1. Diffondere i makerspace: la prospettiva internazionale	28
3.2. Diffondere i makerspace: la prospettiva italiana	32
4. L'educazione STE(A)M	35
2. Tecnologie e Nuovi Scenari.....	44
1. Il post-digitale	44
2. Low and High Technologies in Education	46
3. La robotica educativa	49
3.1. I vantaggi educativi e inclusivi	56
3.1.1. STE(A)M e discipline	56
3.1.2. Pensiero cognitivo e creativo	57
3.1.3. Ambiente di apprendimento, embodiment e abilità socio-relazionali	58
3.1.4. Inclusione	59
3.1.5. Una questione di genere	61
3.1.6. L'integrazione nel curriculum: opportunità e sfide	63
3.2. La formazione di insegnanti e futuri insegnanti	65
4. La digital fabrication e la stampa 3D	72
4.1. La storia della stampa 3D	74
4.2. La digital fabrication a scuola	76
4.2.1. Le stampanti 3D e i software CAD	80
4.2.2. Le penne 3D	86
4.2.3. I laser cutters e i cutting plotters	87
5. Virtual and Augmented Reality	90
3. Il Progetto	103
1. Scopo e domande di ricerca	103
2. Contesto e partecipanti	106
2.1. Parte I	107

2.2. <i>Parte II</i>	109
3. Metodologia	111
4. Valutazione	115
4.1. <i>Assessment as learning</i>	115
4.2. <i>Valutare nei contesti maker</i>	125
4.3. <i>Gli strumenti valutativi</i>	135
4.3.1. <i>Valutazione quantitativa</i>	136
4.3.2. <i>Valutazione qualitativa</i>	138
4. Narrazione del Progetto	142
1. Parte I	144
1.1. <i>Presentazione degli strumenti</i>	145
1.2. <i>Goal 7: “Energia pulita e accessibile”</i>	150
1.3. <i>Goal 11: “Città e comunità sostenibili”</i>	154
1.4. <i>Goal 15: “Vita sulla Terra”</i>	158
2. Parte II	163
2.1. <i>Presentazione degli strumenti</i>	164
2.2. <i>Goal 3: “Salute e benessere”</i>	171
2.3. <i>Goal 13: “Lotta contro il cambiamento climatico”</i>	175
2.4. <i>Goal 14: “Vita sott’acqua”</i>	177
5. Risultati	183
1. PRE-POST Questionari	183
1.1. <i>Parte I</i>	183
1.2. <i>Parte II</i>	189
1.3. <i>Confronto Parte I - Parte II</i>	193
1.4. <i>Genere</i>	199
2. Diari di bordo	202
3. Focus group	209
4. Sintesi e considerazioni finali	226
6. Conclusioni	235
Bibliografia	242
Appendici	281
Appendice A	281
Appendice B	285

Appendice C	287
Appendice D	288
Appendice E	290
Appendice F	291

Introduzione

I sistemi educativi si trovano oggi a dialogare con gli elementi di complessità derivanti dalle rapide trasformazioni della società contemporanea, tra cui la frammentarietà dei saperi, l'indefinitezza dei confini spazio-temporali e l'eterogeneità dei contesti classe in termini di background socio-culturale e di modalità di comunicazione. 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 (Gratani & Giannandrea, 2021). La tecnologia è divenuta pervasiva e trasparente, raggiungendo una forma 'stabile', non più rivoluzionaria (Giannandrea, 2021) e la distinzione tra digitale e non digitale, così come tra vecchi e nuovi media, si fa via via più sfumata. Il post-digitale si è dunque immerso nel processo pedagogico, rompendo i confini dell'insegnamento e dell'apprendimento formale e informale e configurandosi come una delle grandi sfide del panorama educativo contemporaneo (Jandrić *et al.*, 2018).

Tale sfida impone un ripensamento degli schemi didattici tradizionali, a partire dalle scelte metodologiche ad essi sottese. Gli ecosistemi di apprendimento del XXI secolo dovrebbero 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).

In tale scenario, acquisisce dunque ancor più rilevanza la necessità di 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).

La natura aperta, collaborativa e sperimentale dei compiti si configura come elemento caratterizzante della *Maker Education*, in cui i discenti, nella veste di *makers*, costruiscono in modo attivo ed esperienziale le proprie conoscenze attraverso attività pratiche che combinano le abilità manuali con l'esercizio di competenze digitali, mirate alla soluzione di problemi aperti ispirati alla vita quotidiana e alla creazione di artefatti fisici o digitali (Repetto, 2020). Tale approccio educativo viene considerato come un'estensione tecnologica dell'attivismo, in grado di veicolare lo sviluppo delle competenze STEAM (*Science, Technology Engineering, Arts, Mathematics*) e del XXI secolo (Binkley *et al.*, 2012), implementando i principi dell'apprendimento *project-based* e *hands-on* (Lundberg & Rasmussen, 2018) e promuovendo un processo di progettazione partecipata fortemente "enattivo" (Lehmann & Rossi, 2020). Il suo tratto distintivo risiede infatti nell'«apprendere costruendo conoscenza attraverso l'atto di rendere qualcosa condivisibile¹» (Martinez & Stager, 2013, p. 31).

Di pari passo con la digitalizzazione e lo sviluppo tecnologico, l'artigianato e il making hanno guadagnato nuove interessanti dimensioni, metodi e attrezzature, come le stampanti 3D, i *laser cutters*, la robotica, il coding, gli *e-textiles*, gli *smart textiles* e le tecnologie indossabili (Karppinen, Kallunki, & Komulainen, 2019). Tra le principali tecnologie a supporto dell'educazione Maker e STEAM spicca indubbiamente la Robotica Educativa (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. Per tale ragione, è opportuno che la comunità dei ricercatori esplori le possibili connessioni tra la RE e la fabbricazione digitale, l'elettronica e le altre tecnologie di costruzione, nonché la sua collocazione all'interno del più ampio movimento Maker (Alimisis,

¹ Tutte le citazioni tratte da fonti in lingua straniera e riportate nel seguente testo sono state tradotte dall'autrice. Tutti i link presenti nel testo e nella bibliografia sono stati consultati l'ultima volta nell'ottobre 2022.

Moro, & Menegatti, 2017). Superando il tentativo di definizione univoca di un campo così imponente e in rapida evoluzione, emergono con chiarezza le sue numerose potenzialità, 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. Ciò soddisfa il bisogno di nuove iniziative orientate dell'inclusione e della sostenibilità culturale per valorizzare tutti i discenti e per ovviare alle forme di povertà educativa e ai fenomeni di ingiustizia sociale che perpetuano nelle pratiche culturali dominanti (Repetto, 2020).

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. 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 (Sibilio, 2015) 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).

Nel panorama scolastico italiano, le esperienze di making e RE risultano 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, in press).

Tali esigenze e basi teoriche ci hanno guidato nella messa a punto di un piano di sperimentazione volto a delineare una proposta di integrazione delle attività making nella didattica curricolare della scuola primaria e secondaria di primo grado e a rilevarne l'impatto su autoefficacia scolastica percepita e *attitude* verso le STEM e le abilità del XXI secolo degli studenti. Il progetto, svoltosi nell'ambito del dottorato di ricerca tra il gennaio del 2021 e l'aprile del 2022, risulta suddiviso in due parti, contraddistinte dal termine dell'anno scolastico in corso e dall'avvio di quello successivo. Esso è stato in gran parte sviluppato durante il periodo di emergenza sanitaria Covid-19 e ciò ha influito notevolmente sulla progettazione e sulla conduzione del percorso, a cominciare dalla scelta del campione. Il percorso ha infatti interessato 50 studenti e cinque docenti dell'Istituto Comprensivo “S. De Magistris” di Caldarola (MC), in collaborazione con l'Università degli Studi di Macerata. La prima parte del progetto ha visto gli studenti suddivisi in tre classi appartenenti a tre scuole primarie dell'Istituto, ciascuna allocata in un comune distinto. L'avvio della seconda parte ha invece coinciso con una modificazione della composizione delle classi e del corpo docente, dovuta al passaggio della maggior parte degli studenti alla scuola secondaria di primo grado.

Il progetto ha coinvolto gli studenti in un percorso verticale funzionale all'apprendimento di diverse materie e orientato a pratiche laboratoriali e collaborative,

secondo un approccio multidisciplinare e longitudinale. A tal fine, abbiamo proposto sfide autentiche legate ai temi dell'Agenda 2030 delineata dall'ONU (2015), volte a richiamare i contenuti curricolari e i contesti di vita degli alunni, stimolando lo sviluppo delle competenze e incidendo su programma e processo valutativo delle classi. Abbiamo inoltre scelto di adottare la *Design-Based Implementation Research* (DBIR) come principale metodologia di riferimento (Fishman *et al.*, 2013), poiché orientata a tracciare e a testare il processo sperimentale interagendo con i docenti come co-progettisti e tenendo conto della sostenibilità come indicatore dello stesso. Infine, il progetto ha privilegiato una forma di valutazione *as learning*, ossia volta a costruire una comprensione condivisa di quanto valutato e a rendere il processo valutativo accessibile agli studenti affinché potessero parteciparvi apertamente e sinceramente (Murai *et al.*, 2020).

I primi due capitoli del presente testo mirano a delineare un background teorico relativo alla *Maker Culture* e agli scenari emergenti nell'ambito della tecnologia per l'educazione. Nello specifico, il Capitolo 1 approfondisce la nascita e le peculiarità del *Maker Movement* e della *Maker Education* (par. 1. e par. 2.) e la loro diffusione nel panorama nazionale ed internazionale tramite le varie tipologie di *makerspaces* e iniziative avviate (par. 3., 3.1. e 3.2.). Parallelamente, si accenna alla nascita e all'espansione della *STE(A)M Education* (par. 4.), in stretta connessione con la prima per intenti e rilevanza. Il Capitolo 2 fornisce poi un quadro sui cambiamenti apportati in ambito educativo dai recenti avanzamenti tecnologici, conducendo il lettore a riflettere sul concetto di post-digitale (par. 1.) e sul contributo delle *low e high technologies* (par. 2.). Tra queste ultime, particolare attenzione è riservata alla RE (par. 3.), di cui si analizzano i numerosi vantaggi educativi e inclusivi (par. 3.1.) e la necessità di un'attenta formazione rivolta ad insegnanti e futuri insegnanti (par. 3.2.). Successivamente, si mette in luce l'apporto della *digital fabrication* e della stampa 3D (par. 4.), ripercorrendo la loro evoluzione e i loro tratti distintivi (par. 4.1.) per cogliere le potenzialità offerte nel contesto scolastico (par. 4.2.). Infine, si rimanda agli stimoli offerti dallo scenario emergente e in rapida evoluzione della *Virtual e Augmented Reality* (par. 5.).

A partire da tale background teorico, i Capitoli 3, 4 e 5 mirano a presentare il progetto pilota messo in campo. Il Capitolo 3 chiarisce scopo e domande di ricerca (par.

1.), contesto e partecipanti (par. 2.), scelte metodologiche (par. 3.) e valutazione del progetto (par. 4.). Per quest'ultima, in particolare, si fa riferimento al recente paradigma dell'*assessment as learning* (par. 4.1.) e alle attuali sfide della valutazione nei contesti maker (par. 4.2.), per arrivare ad illustrare gli strumenti valutativi adottati (par. 4.3.). Il Capitolo 4 scende poi nel dettaglio dell'attuazione del progetto, presentando gli strumenti coinvolti, i contenuti, l'organizzazione e lo svolgimento delle attività proposte nelle due parti (par. 1. e par. 2.). Infine, il Capitolo 5 riporta e discute i risultati emersi dall'analisi dei dati di tipo quantitativo (par. 1.) e qualitativo (par. 2. e par. 3.), al fine di elaborare una sintesi e tracciare le prime considerazioni finali (par. 4.).

Tali considerazioni sono infatti riprese ed ampliate nel Capitolo 6, volto a tirare le fila di quanto esposto nel presente testo, alla luce degli apporti teorici esaminati e dei risultati emersi dalla pratica. 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, segnando un passo avanti nella ricerca in ambito educativo e individuando al contempo future direzioni da perseguire ed indagare. Coerentemente alla natura della ricerca stessa, quanto leggerete è frutto di una continua ridefinizione di prospettive e assunti teorici e metodologici, alimentata dal bisogno e dalla necessità di accrescere il proprio bagaglio conoscitivo ed esperienziale, aprirsi a scambi e "contaminazioni" e attuare un processo di indagine ricorsiva, senza alcuna pretesa di esaustività e senza alcuna volontà di esaurirsi e limitarsi alle proprie vedute. L'autrice, pertanto, sollecita e accoglie di buon grado qualsivoglia scambio di interessi, opinioni e risultati.

1. La *Maker Culture*

1. Il *Maker Movement*

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 *Do It Yourself* (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 Do-It-Yourself* (Bravi, Murmura, & Santos, 2018).

Chris Anderson (2012), ex caporedattore della rivista *Wired*², fu il primo a parlare di *Maker revolution* per indicare l'influente ruolo del movimento 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). 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 favorita 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*³ 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.

² *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.

³ <https://makezine.com/>

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, Murmura, & Santos, 2018). 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*⁴, un evento su larga scala volto a radunare appassionati di tecnologia, artigiani, educatori, ingegneri, club scientifici, 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

⁴ <https://makerfaire.com/>

“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 come *Makerspace*, *Hackerspace* o *FabLab* (vedi par. 3. del presente capitolo), sono sorti in librerie (Horton, 2019; Lakind, Willett, & Halverson, 2019), musei (Braybrooke, 2018), scuole (Craddock, 2015; Doorman *et al.*, 2019), università (Barrett *et al.*, 2015; Trust, Maloy, & Edwards, 2018) e altri contesti formali e informali (Barton, Tan, & Greenberg, 2017). Lo scopo è quello di incoraggiare persone di ogni età ad incontrarsi per mescolare e condividere le loro idee (Robbins & Smith, 2016), 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*, basata sul ciclo *Think-Make-Improve* (TMI) 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*⁵ 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 tramite un approccio *bottom-up*⁶. 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

⁵ <https://www.exploratorium.edu/tinkering/>

⁶ 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.

illimitate per il mondo dell'educazione».

Il seguente paragrafo approfondisce l'impatto del movimento Maker in ambito educativo, che ha condotto alla nascita della *Maker Education*.

2. L'approccio educativo: la *Maker Education*

La *Maker culture* sta divenendo sempre più influente nei contesti educativi, sollecitando, nell'ultimo decennio, l'attenzione della comunità scientifica. 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 dunque un'estensione tecnologica dell'attivismo, in grado di veicolare lo sviluppo delle competenze STEAM e del XXI secolo (Binkley *et al.*, 2012).

I suoi sostenitori 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). Alcuni autori sostengono infatti che tale approccio possa favorire la costruzione di conoscenze e disposizioni *future-focused* e l'abbattimento delle barriere tra i tradizionali "compartimenti" disciplinari (Gilbert, 2017; Shelley *et al.*, 2016).

Le radici pedagogiche della *Maker Education* sarebbero riconducibili al metodo educativo pionieristico di Montessori (1914), alle teorie del costruttivismo di Bruner

(1961), Dewey (1938) e Vygotsky (1978) e a quelle del costruzionismo di Papert e Harel (1991). In particolare, Dewey (1938) sottolinea l'importanza di un apprendimento esperienziale (*learning by doing*), un processo che include esperienza, sperimentazione e indagine autentica, mentre Papert e Harel (1991) sostengono che le attività di progettazione possano 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, 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*»⁷.

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 considerata una modalità altamente coinvolgente e interattiva di implementare i principi dell'apprendimento *project-based* e *hands-on* (Lundberg & Rasmussen, 2018),

⁷ 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.

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. 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). 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* ad 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.

Gli ecosistemi di apprendimento del XXI secolo dovrebbero essere progettati in modo da coinvolgere attivamente gli studenti con compiti, attività pratiche ed esperienze di apprendimento che promuovano la creatività dei giovani, il pensiero critico, il lavoro di squadra e risoluzione dei problemi (Alimisis *et al.*, 2019). Acquisisce sempre più valore la possibilità di lavorare per problemi situati, aperti e autentici piuttosto che chiusi e decontestualizzati, attivando processi di progettazione, produzione e confronto che vanno a colmare la distanza tra vita reale e proposte didattiche tradizionali (Doppelt, 2009; Flinders & Thornton, 2004). Compiti che consentono soluzioni multiple e processi di apprendimento per prove ed errori costituiscono un contesto significativo e fertile per la creatività (Bocconi, Kamylyis & Punie, 2012; Mosa & Tosi, 2018; Bombieri & Giusti, 2021). 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.

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 secolo⁸ (World Economic Forum, 2015) e di

⁸ Nel report “New Vision for Education. Unlocking the Potential of Technology” del 2015 il World Economic

quella che Marsh, Arnseth e Kumpulainen (2018) definiscono *Maker citizenship*⁹.

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 che emergono nei contesti educativi, in quanto strumenti come robot, stampanti 3D e applicazioni di modellazione 3D *web-based* stanno diventando più facilmente accessibili (Sheffield *et al.*, 2017). 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 "DOIT" illustrato dai ricercatori (vedi par. 3.1. del presente capitolo) 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. 1, 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

Forum individua 16 competenze del XXI secolo. Esse risultano suddivise in tre categorie:

1. le abilità fondamentali (*foundational literacies*, ovvero come gli studenti applicano le competenze di base ai compiti quotidiani): alfabetizzazione letteraria, alfabetizzazione numerica, alfabetizzazione scientifica, alfabetizzazione alle ICT, alfabetizzazione finanziaria, alfabetizzazione culturale e civica;
2. le competenze trasversali (*competencies*, ovvero come gli studenti affrontano sfide complesse): pensiero critico/problem-solving, creatività, comunicazione, collaborazione;
3. le qualità caratteriali (*character qualities*, ovvero come gli studenti si relazionano al contesto che muta): curiosità, iniziativa, perseveranza, flessibilità, leadership, consapevolezza sociale e culturale.

⁹ 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).

lavoro di squadra e promuove competenze progettuali e tecniche, tra cui l'uso produttivo degli strumenti digitali.



Fig. 1 – Sviluppo delle competenze attraverso l'educazione all'imprenditorialità precoce e/o l'educazione maker.

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

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 la capacità rendere la conoscenza scientifica più accessibile (Martin, 2015), coinvolgendo i giovani in un apprendimento STEM più profondo (Gilbert, 2017).

Lo sviluppo e il facile accesso alle nuove tecnologie continuano ad esercitare un influsso su metodologie di insegnamento e di apprendimento (Khalifa & Brahim, 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).

In tale direzione si sviluppa la ricerca di Alimisi e colleghi (2020). Nell'ambito del progetto “*eCraft2Learn*”¹⁰, gli studiosi hanno istituito un workshop formativo rivolto a 20 insegnanti greci con l'obiettivo di familiarizzare con strumenti di robotica, elettronica fai-da-te, programmazione visiva, modellazione e stampa 3D e di consentire loro di assumere il ruolo di *coach* per i loro studenti in un ambiente ispirato al movimento Maker. Dai feedback dei tirocinanti si rilevano dati interessanti. Da un lato, infatti, essi sottolineano l'utilità della formazione sotto svariati punti di vista (partecipazione fisica ad un autentico makerspace; conoscenza di vari metodi e strumenti STEAM; possibilità di auto-riflettere sulle loro esperienze e sulle sfide), dall'altro esprimono ansia e frustrazione rispetto all'assunzione di un nuovo ruolo e all'adozione di nuovi strumenti e metodi (soprattutto i docenti in servizio nelle scuole pubbliche). Secondo gli autori questo dato è da ricondurre all'assetto normativo e metodologico del sistema di istruzione vigente. I docenti sono stati chiamati ad assumere improvvisamente un ruolo molto diverso, lasciando libera iniziativa agli studenti, lavorando in un ambiente stimolante ma sconosciuto e utilizzando strumenti completamente nuovi. Ciò entra in contrasto con i metodi di insegnamento adottati che risultano prevalentemente prescrittivi, limitanti e orientati a risultati di apprendimento prevedibili.

L'educazione interdisciplinare e l'innovazione nelle scuole richiedono un nuovo modo di pensare e discutere sull'educazione: come pianificare, progettare e organizzare l'istruzione formale. 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).

¹⁰ Il progetto *eCraft2Learn* (<https://project.ecraft2learn.eu>), ispirato al movimento maker, ha portato alla definizione di un ecosistema di apprendimento volto ad introdurre la fabbricazione digitale e le tecnologie making nell'istruzione. La pedagogia alla base del progetto si fonda sulla metodologia costruttivista del “learning by making”, fortemente legata alla fabbricazione digitale e alla filosofia DIY. L'intento è dunque quello di promuovere degli ecosistemi di apprendimento del XXI secolo in grado di coinvolgere attivamente gli studenti con compiti, attività pratiche ed esperienze di apprendimento che promuovano la creatività, il pensiero critico, il lavoro di squadra e la risoluzione dei problemi.

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.

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 (Paoletta, 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 pubbliche o della società civile 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 sono quindi due requisiti chiave dei makerspace (Jónsdóttir, 2017). 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).

All'interno della categoria dei makerspace troviamo poi i *FabLabs*. La nascita dei *FabLabs* o *fabrication laboratories* viene ricondotta al 2002, grazie ad una 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 internazionale¹¹, gestita dalla *FabFoundation* (vedi par. 3.1. del presente capitolo), 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;

¹¹ Mappa raffigurante la distribuzione dei FabLab nel mondo: <https://www.fablabs.io/labs/map>

3. makerspace aperti situati nelle scuole;
4. makerspace temporanei (*pop-up*).

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 loro gestione e il loro 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. 2) 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).

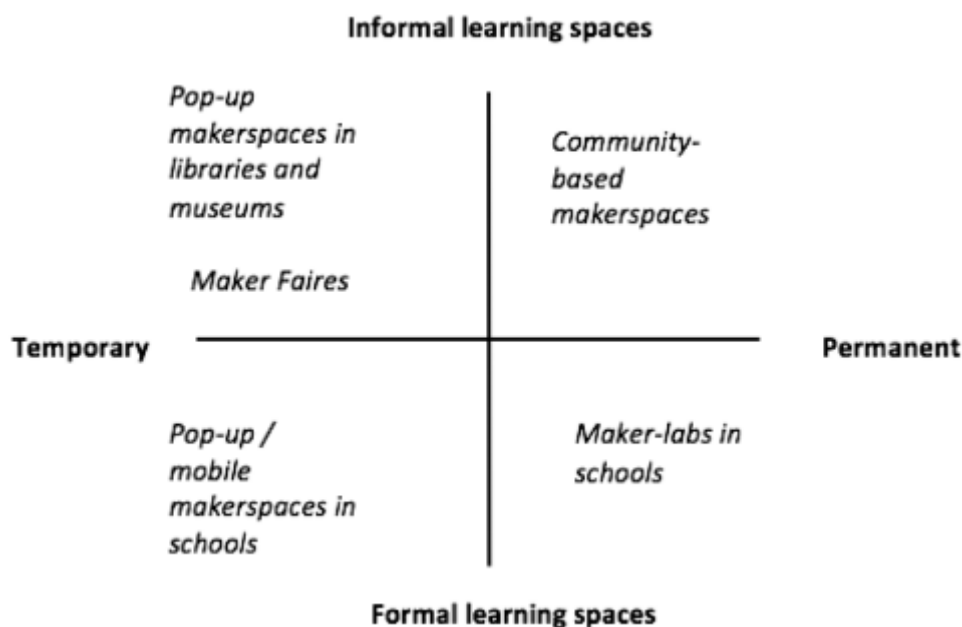


Fig. 2 – Tipologie di makerspace.

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.

Una simile classificazione (Fig. 3) è proposta da Repetto (2020) che delinea quattro categorie di makerspace derivanti, anche in questo caso, dall’intersezione di due assi ortogonali relativi, rispettivamente, al contesto in cui le attività maker possono aver luogo (scuola-territorio) e al tipo di approccio metodologico adottato (approccio strutturato-libera iniziativa). L’autrice analizza i quattro scenari evidenziando i differenti vantaggi ed elementi critici ai fini dell’inclusione delle fasce di studenti più emarginate.



Fig. 3 – I quattro scenari per la Maker Education.

Fonte: Repetto, 2020, p. 210.

I makerspace scolastici si differenziano, a loro volta, a seconda dell'utenza coinvolta e della loro organizzazione. Per quanto concerne l'utenza, ad esempio, nel primo ciclo d'istruzione non sono generalmente previsti profili tecnici e la gestione dei makerspace è quindi legata alle competenze specialistiche e alla formazione personale dei docenti (Cannone, 2021). 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}*¹² e le *Maker{Boxes}*¹³, 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 maker. Tali carrelli sono spesso dotati di vassoi rimovibili e di lati sollevabili per creare un'ampia superficie di lavoro. 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

¹² <https://makerfutures.org/?strand=makermove>

¹³ <https://makerfutures.org/programme/maker-box-project/>

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 tali 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 NMC¹⁴ 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 infatti 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 infatti l'accento sulla dimensione sociale dei makerspace, sull'opportunità di condivisione (Hatch, 2013; Blikstein *et al.*, 2016), 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).

¹⁴ <http://www.nmc.org/nmc-horizon/>

Diffondere makerspace e making nelle scuole, in particolare per la fascia k-12, è attualmente un obiettivo educativo globale (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).

3.1. *Diffondere i makerspace: la prospettiva internazionale*

Come già anticipato, un ruolo cruciale nella diffusione e gestione della rete di FabLab nel mondo è rivestito dalla *Fab Foundation*. La Fab Foundation è un'organizzazione statunitense senza scopo di lucro nata nel 2009 dal programma Fab Lab del *Center for Bits & Atoms* del MIT per supportare la crescita del network internazionale dei FabLab. Come si legge nella pagina ufficiale della Fondazione, la sua missione è quella di «fornire l'accesso agli strumenti, alla conoscenza e ai mezzi finanziari per educare, innovare e inventare»¹⁵. L'intento è quindi quello di sfruttare le tecnologie digitali per creare opportunità di miglioramento, permettendo a chiunque di realizzare praticamente tutto ciò che può immaginare. L'organizzazione ha definito delle linee guida in un documento chiave, noto come *Fab Charter*¹⁶, al quale i FabLab devono aderire, e un *rating* per la valutazione dei servizi offerti. Tra i principi fondanti troviamo: l'apertura al pubblico, la sottoscrizione della *FabCharter*, il possesso delle dotazioni tecnologiche minime richieste e la partecipazione alla rete FabLab attraverso pratiche di condivisione, documentazione e collaborazione. La Fondazione mette a disposizione diversi programmi e servizi educativi su vari temi. Il programma dedicato alla fabbricazione digitale è gestito dalla *Fab Academy*, un campus distribuito a livello internazionale che offre esperienze di apprendimento pratico sulla prototipazione rapida attraverso tecnologie all'avanguardia. Il percorso viene realizzato in gruppi connessi globalmente per mezzo di classi interattive e documentato mediante l'elaborazione di portfoli personali. Accanto alla Fab Academy, la Fondazione, in collaborazione con il TIES (*Teaching Institute for Excellence in STEM*) (vedi par. 4. del presente capitolo), ha poi istituito *Fab ED*, un network collaborativo finalizzato a supportare le scuole, sin dall'infanzia, nell'introduzione della fabbricazione digitale all'interno dei curricula (Garzia & Mangione, 2017). Tale supporto al sistema educativo formale è garantito

¹⁵ <https://fabfoundation.org>

¹⁶ <https://fabfoundation.fablabbcn.org/index.php/the-fab-charter/index.html>

anche attraverso la formazione del personale docente.

Un'interessante scoping review di Menichetti e Micheletta (2021) analizza la letteratura scientifica dal 2000 al 2021 per determinare contesti formativi e finalità di utilizzo dei makerspace per bambini e ragazzi di età prescolare e scolare. La Fig. 4 mostra un prevalente successo degli spazi maker nella realtà statunitense (51%), dove questi ultimi raccolgono le maggiori attenzioni della comunità scientifica. I restanti studi si dividono tra Europa (19%), Asia (9%), Australia (8%), Canada (8%) e altre situazioni di minore entità.

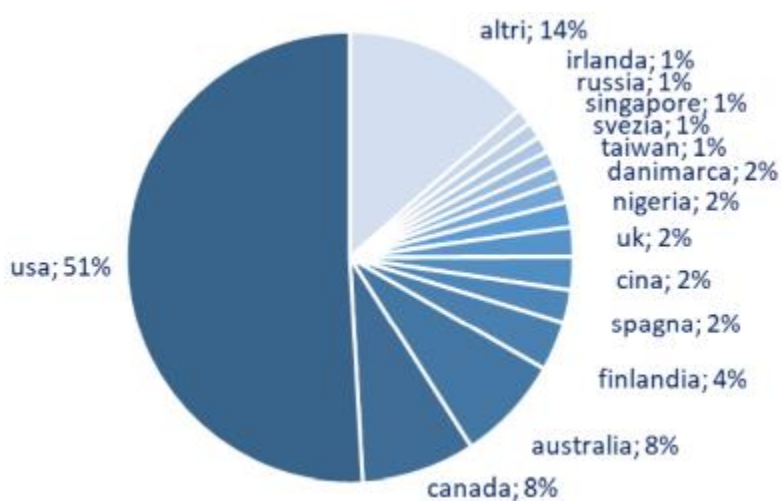


Fig. 4 – Distribuzione percentuale degli studi per Paese, rispetto al totale esaminato.

Fonte: Menichetti e Micheletta, 2021, p. 86.

Le autrici evidenziano inoltre il significativo andamento nel tempo del numero di pubblicazioni oggetto dello studio, passando da un solo articolo nel 2008 a 42 articoli nel 2020 e mostrando quasi un raddoppio nell'arco di due anni tra il 2016 e il 2018 e poi ancora tra il 2018 e il 2020.

In Europa lo sviluppo dei makerspace nelle scuole è ancora in uno stadio germinale. In alcuni Paesi, soprattutto quelli nordici, si rintracciano scuole pionieristiche e primi progetti pilota finanziati da ministeri, comuni e fondazioni per esplorare e valutare i benefici educativi di questi spazi.

Numerose organizzazioni e iniziative sono quindi sorte in tutto il mondo per promuovere programmi maker nelle scuole primarie e secondarie.

Tra queste troviamo il progetto “*FabLab@School*”, ora “*FabLearn*”¹⁷, sviluppato nel 2008 dalla Stanford University (USA). Lo scopo è quello di sostenere educatori, ricercatori e politici che cercano di introdurre il making nell’educazione informale e formale e diffondere pratiche, idee e risorse a livello internazionale.

Dalla collaborazione tra sette paesi europei e tre musei della Bay Area di San Francisco è nato inoltre il progetto internazionale “*Makerspaces in the Early Years: Enhancing Digital Literacy and Creativity*”¹⁸ (*MakeEY*). Il progetto mira ad indagare ed evidenziare il potenziale dei makerspace nell’apprendimento formale ed informale destinato all’*early child education* in relazione a tre piani di analisi interconnessi: personale, relazionale e culturale-istituzionale. A partire da tali prospettive, Marsh e colleghi (2019) individuano tre temi chiave delle attività maker: la *maker agency*, la conoscenza maker e il gioco maker postdigitale. A livello individuale, i makerspace oggetto di studio hanno fornito ai bambini molte opportunità per sviluppare la *maker agency*, intesa come capacità di agire indipendentemente e con intenzione in questi spazi, di esplorare i propri interessi ed effettuare scelte personali, decidendo cosa fare e quando/come farlo. Sul piano relazionale, i makerspace hanno indotto gli alunni ad attingere ai propri fondamenti di conoscenza per comprendere e svolgere molti processi e per sostenere l’apprendimento reciproco. Gli educatori hanno quindi identificato e costruito competenze digitali a partire dai fondamenti di conoscenza degli alunni, tra cui spicca la conoscenza e l’esperienza pregressa con le tecnologie digitali. Infine, sul piano istituzionale, i makerspace possono supportare l’introduzione di approcci postdigitali nelle pratiche culturali consolidate. Nelle esperienze di gioco condotte nel corso dello studio, i bambini si sono mossi in maniera fluida e spontanea tra domini digitali e non digitali, online e offline, interagendo sia con le figure fisiche che con le loro rappresentazioni digitali. A partire dal concetto di gioco postdigitale (Jayemanne, Apperley, & Nansen, 2016), gli autori introducono dunque quello di gioco maker postdigitale, fondato sulla coesione tra gioco tradizionale e gioco digitale.

Sul legame tra educazione Maker e educazione all’imprenditorialità si fonda poi il progetto europeo di ricerca e innovazione “*DOIT - Entrepreneurial skills for young social innovators in an open digital world*”. Esso nasce come un’azione triennale promossa da Horizon 2020 (ottobre 2017-settembre 2020) per progettare, sperimentare

¹⁷ <http://fablearn.org/about>

¹⁸ <http://makeyproject.eu>

e valutare un nuovo approccio che consenta ai giovani di sviluppare una mentalità imprenditoriale e fare esperienza come innovatori sociali. DOIT mirava, infatti, a promuovere le competenze digitali, sociali e imprenditoriali dei giovani tra i 6 e i 16 anni attraverso un apprendimento basato sulla pratica nei makerspace. Il progetto ha previsto due fasi di sperimentazione in dieci Paesi europei (Austria, Belgio, Germania, Danimarca, Spagna, Finlandia, Croazia, Paesi Bassi, Slovenia e Serbia) e l'utilizzo di tutte e tre le categorie di spazi sopra descritti (FabLab, hackerspace e makerspace), già presenti o allestiti temporaneamente in scuole e biblioteche pubbliche. I progetti pilota hanno proposto attività maker co-creative per sensibilizzare e affrontare, trovando soluzioni potenzialmente sostenibili, diverse questioni sociali, come: la convivenza civile (es. inclusione sociale, vita interculturale), la partecipazione e i diritti (es. coinvolgimento politico, privacy), ambiente e natura (es. uso sostenibile delle risorse, gestione dei rifiuti). Componente rilevante di tali progetti è stata anche l'attenzione posta al coinvolgimento di bambini e giovani delle aree rurali o con disabilità e delle ragazze, tipicamente sottorappresentate nei makerspace. I makerspace, nelle loro diverse varianti, sono dunque risultati ambienti di apprendimento utili per promuovere l'innovazione sociale e l'apprendimento imprenditoriale (Geser *et al.*, 2019).

Infine, altrettanto prezioso in termini di innovazione degli spazi di apprendimento, è il lavoro svolto dall'*Interactive Classroom Working Group*¹⁹ (ICWG). L'ICWG, composto da sette ministeri dell'istruzione, ha indagato le possibili relazioni tra makerspace e pedagogia, curriculum, progetti cross-curricolari, educazione STEM e sviluppo delle competenze. Sulla base dei dati emersi da esperienze pratiche condotte in nove paesi europei, il gruppo di lavoro ha poi elaborato e pubblicato delle importanti linee guida pratiche per insegnanti e dirigenti scolastici, denominate "*Makerspaces in schools: Practical guidelines for school leaders and teachers*" (Attewell, 2020) e incentrate sulla creazione, la progettazione e l'implementazione dei makerspace nelle scuole. Il documento risulta suddiviso in due parti. La prima analizza i makerspace e simili ambienti di apprendimento attivo, considerando benefici e sfide per le scuole e

¹⁹ <https://fcl.eun.org/icwg>. L'*Interactive Classroom Working Group* (ICWG) è uno dei quattro gruppi di lavoro di European Schoolnet (EUN). Venne istituito nel 2013 per consentire ai sette ministeri dell'istruzione coinvolti di condividere esperienze e affrontare le attuali sfide politiche. Tra i vari temi di interesse, il gruppo di lavoro si è concentrato sull'integrazione delle tecnologie in classe, l'uso pedagogico dei dispositivi mobili e dei servizi cloud k-12, gli approcci BYOD, l'apprendimento personalizzato e inclusivo e la progettazione di spazi di apprendimento innovativi. Negli ultimi anni l'ICWG si è focalizzato in particolar modo su quest'ultimo tema, avviando un'indagine sulla creazione e l'uso di makerspace nelle scuole con la partecipazione di nove paesi europei: Austria, Belgio, Repubblica Ceca, Irlanda, Italia, Lussemburgo, Portogallo, Svizzera e Turchia.

suggerendo possibili implementazioni. La seconda parte fornisce invece una guida su pianificazione, allestimento e gestione dei makerspace e illustra possibili strumenti da utilizzare per le attività maker.

3.2. Diffondere i makerspace: la prospettiva italiana

In Italia, per opera dei responsabili dei principali FabLab italiani, di aziende e studi professionali, nel 2014 nasce l'associazione nazionale *Make in Italy*²⁰ al fine di promuovere iniziative di ricerca e coordinamento legate alla cultura della *personal fabrication* e formalizzare una rete di conoscenze e competenze attorno a tale tema. In linea con la cultura Maker, l'associazione si ispira a valori di collaborazione, condivisione e apertura e offre consulenza e assistenza per le attività dei laboratori aperti. Il fine ultimo è infatti quello di fungere da “catalizzatore” per la creazione di una Comunità aperta fondata sulla collaborazione tra realtà affini e la condivisione di valori e servizi.

A livello normativo, un impegno 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 Piano Nazionale Scuola Digitale (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 giocano 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

²⁰ <http://www.makeinitaly.org/>

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 ad 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"²¹ (2016), "Ambienti di apprendimento innovativi"²² (2018) e "Laboratori didattici innovativi"²³ (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 competenze trasversali tramite attività di *tinkering* o costruzione di oggetti (es. 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 (2016a) 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; Lefebvre, 1991). 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.

²¹ https://www.istruzione.it/scuola_digitale/prog-atelier.shtml

²² https://www.istruzione.it/scuola_digitale/ambienti_apprendimento_innovativi.shtml

²³ https://www.istruzione.it/pon/avviso_laboratori-didattici-innovativi.html#sec_pro

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*”²⁴ (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 curricolari 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 makers si impegnano a curare la libera circolazione dei saperi, attraverso *open-source* e *open-hardware*;
3. 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

²⁴ <https://maker.indire.it/>

efficacia è legata al dialogo tra scuola e makers. In particolare, viene riportato un modello sostenibile (Fig. 5) 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.

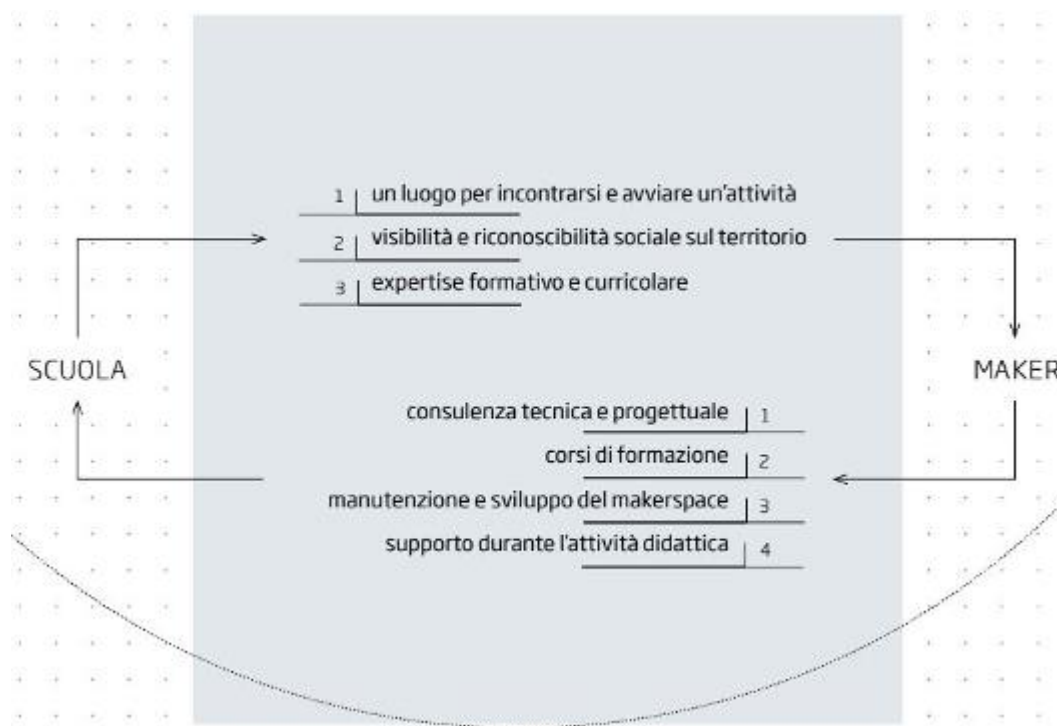


Fig. 5 – Il modello sostenibile, reciproci vantaggi.

Fonte: Makerspace Manifesto, p. 11.

4. L’educazione STE(A)M

L’acronimo STEM e le prime riflessioni sull’educazione STEM nascono attorno agli anni 2000 negli Stati Uniti. Fu Judith Ramaley, vicedirettore della divisione “Educazione e Risorse Umane” della *National Science Foundation*²⁵ (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

²⁵ <https://www.nsf.gov/> La *National Science Foundation* (NSF) è un’agenzia federale indipendente creata dal Congresso nel 1950 per supportare e promuovere il progresso della ricerca e della conoscenza. L’agenzia offre quindi un sostegno essenziale per l’economia e la leadership statunitense, provvedendo al finanziamento di circa il 25% della ricerca di base condotta da college e università americane.

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 così 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 2030²⁶, 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 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) (Shatunova *et al.*, 2019). 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 riscontro anche da un punto di vista fisiologico, richiamando la complementarità tra gli emisferi sinistro e destro del

²⁶ <https://www.bls.gov/emp/tables/stem-employment.htm>

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.

La *Maker Education* aiuta a superare dicotomie tra scienze pure e applicate, fungendo da catalizzatore per una visione olistica delle discipline (Bullock & Sator, 2015). L'educazione STEM o STEAM pone infatti 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 primo framework è l'*Engineering Design-Based STEM Integration Curriculum Assessment (Engineering STEM ICA)*, strutturato sulle nove categorie citate e orientato a valutare la qualità del curriculum. Tra i molteplici ambiti di impiego, l'*Engineering STEM ICA* è stato utilizzato come quadro di riferimento per lo sviluppo professionale dell'integrazione STEM e di unità didattiche k-12 e come strumento per aiutare gli insegnanti a riflettere sulle unità curriculari e sulla rappresentazione dell'ingegneria (Guzey *et al.*, 2014; Moore *et al.*, 2014). Oltre a questo framework, i ricercatori presentano la *Integrated STEM Curriculum Planning and Reflection Rubric*, elaborata modificando l'*Engineering STEM ICA* al fine di supportare una scuola nello sviluppo e nell'implementazione del curriculum STEM integrato. Nel progetto descritto la rubrica è stata utilizzata in quattro modi diversi: come framework per tutte le attività di apprendimento; come strumento di pianificazione delle lezioni (gli insegnanti hanno fatto ciclicamente riferimento alla rubrica per verificare se le unità curriculari che stavano progettando fossero in linea con le categorie); come strumento di riflessione post-azione (gli insegnanti hanno fatto riferimento allo strumento per verificare se l'unità curricolare STEM realizzata rispondeva alle categorie e se la lezione svolta differiva dalla lezione prevista); per organizzare la raccolta dei dati sull'allineamento della pratica dell'insegnante al curriculum STEM integrato.

Il *Teaching Institute for Excellence in STEM*²⁷ (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.

²⁷ <https://www.tiesteach.org/>

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 gli studenti sottorappresentati. 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.

Sul sostegno di insegnanti e educatori nell'organizzazione e implementazione di attività STEAM si è mosso di recente il progetto europeo "*STEAM-H – Improving STEM learning experience in primary schools through a STEAM-based multidisciplinary approach*²⁸", sorto nel 2019 al fine di migliorare le esperienze di apprendimento degli studenti di scuola primaria e la capacità degli insegnanti di fornirle in modo efficace per comprendere il potenziale dell'approccio STEAM. Il progetto nasce infatti dalla necessità di ridurre il crescente divario di competenze in ambito STEM tra i paesi EMEA europei e altre regioni del mondo: in Asia, ad esempio, gli studenti STEM possono rappresentare fino al 20% della popolazione studentesca, mentre in Europa la percentuale si attesta circa al 2%. Il progetto STEAM-H, attraverso la collaborazione di otto partner tra Italia, Irlanda, Germania e Spagna, mira quindi a generare un impatto nei confronti degli insegnanti/educatori (gruppo target primario) e degli studenti della scuola primaria, con un focus particolare sugli studenti potenzialmente svantaggiati e su quelli con prestazioni STEM basse (beneficiari finali), attraverso la creazione di materiali di supporto, attività e moduli di formazione per sostenere l'attuazione delle attività STEAM. L'approccio STEAM promosso punta, dunque, a coinvolgere gli studenti in un contesto di apprendimento multi e interdisciplinare, abbattendo le barriere tradizionalmente esistenti tra classi e materie diverse e offrendo agli studenti l'opportunità di creare nuove connessioni. Tra gli output del progetto troviamo: mappa delle competenze, risorse educative aperte e programma

²⁸ STEAM-H è un progetto *Erasmus+ KA201 – Strategic Partnerships for school education*. Numero di progetto: 2019-1-IT02-KA201-062224: <https://www.steamh.eu/index.php/it/itfrontpage/>

di formazione per insegnanti, manuale pedagogico, corso di formazione transnazionale per insegnanti partner e disseminazione.

Sempre in ambito europeo, Karppinen, Kallunki e Komulainen (2019) presentano un esempio di progetto didattico interdisciplinare in cui si combinano artigianato, fisica, teatro e tecnologie per far sperimentare a futuri insegnanti di scuola primaria le diverse dimensioni del craft (tessile, design e tecnologia), la progettazione basata sull'indagine e un approccio didattico interdisciplinare. Gli autori hanno infatti utilizzato l'approccio *interdisciplinary design and innovation pedagogy* come cornice pedagogica per guidare i processi di progettazione artigianale dei futuri insegnanti. L'approccio si è basato sul modello *Learning by Collaborative Design* (LCD) di Seitamaa-Hakkarainen, Viilo e Hakkarainen (2010) e ha adottato aspetti di *project-based*, di indagine, di problem-solving e di educazione *community-based* nell'ambito delle STEAM. Il modello LCD evidenzia inoltre come tutti i partecipanti debbano lavorare per produrre un oggetto comune, condividendo socialmente le competenze in tutti i livelli del processo di design. I risultati dello studio rilevano che gli studenti hanno trovato un nuovo modo di pensare e organizzare l'insegnamento interdisciplinare, hanno scoperto nuove idee e trovato il coraggio di implementare l'insegnamento di discipline cross-over e hanno mostrato entusiasmo per l'impiego di queste competenze in contesti diversi.

La ricerca presentata si inserisce all'interno del più ampio progetto "Maker@STEAM²⁹", promosso dall'Università di Helsinki. Quest'ultimo riunisce una comunità di ricerca i cui interessi sono orientati all'integrazione della cultura Maker, alla cultura dei materiali, ai processi di design e apprendimento (sviluppo della pedagogia dell'invenzione), all'apprendimento in ambienti digitali e all'insegnamento e apprendimento inter, cross e multidisciplinare su temi inerenti a biologia, chimica, craft, economia domestica, matematica e fisica. Le aree di ricerca sono infatti molteplici e includono la formazione specifica per le materie, la sostenibilità, la tecnologia e l'educazione *out-door*, gli strumenti digitali nell'apprendimento, nonché l'impegno degli studenti, il benessere, l'equità, l'inclusione, le difficoltà di apprendimento e la valutazione. I membri della comunità *Maker@STEAM* portano avanti diversi progetti finanziati da enti esterni e organizzati come ricerca sul design educativo attraverso una *partnership* tra insegnanti e ricercatori. Tali progetti si fondano su uno studio dei

²⁹ <https://researchportal.helsinki.fi/en/organisations/makersteam>

materiali e degli artefatti in quanto tali, ma anche inseriti nel contesto del making e dell'apprendere. Gli studenti sono concepiti come *makers* coinvolti nella creazione di nuovi artefatti per “dare un contributo”. Questi ultimi possono essere prodotti progettati e inventati, strumenti concettuali, cambiamenti nella cultura organizzativa o azioni verso un futuro sostenibile. La ricerca applica tecnologie avanzate per la raccolta dei dati, tra cui *eye-tracking*, metodi di campionamento dell'esperienza, osservazione video e metodi di ricerca sperimentale. I dati vengono inoltre analizzati con metodi sofisticati come la *network analysis*. I membri di *Maker@STEAM* operano nei seguenti gruppi e progetti di ricerca: *Craft and craft education*; *Food, culture and learning*; *Multiple mobile gaze tracking in social interaction*; *STEAM education*; *Cultivating Expertise in Learning of Life Sciences (CELLS)*; *Research in digital learning at schools*; *Materials, artefacts, colour and craft futures*. Tra questi è utile, in questa sede, soffermarsi brevemente su tre progetti. La ricerca in *Craft Studies*, diretta dalla professoressa Pirita Seitamaa-Hakkarainen, è un campo multidisciplinare che copre aree ampiamente diverse del craft, (es. processi di progettazione, realizzazione e sviluppo del prodotto, macchine, strumenti e materiali utilizzati nel craft), analizzando le attività creative e produttive degli esseri umani. L'educazione craft studia l'insegnamento e l'apprendimento del craft e i sistemi educativi, focalizzandosi sullo sviluppo delle competenze, sull'interazione e sulla collaborazione nel craft. I temi di ricerca sono: progettazione e realizzazione di prodotti craft, progettazione collaborativa virtuale, craft come attività culturale, futuro del craft, competenze e conoscenze craft e insegnamento e apprendimento del craft. Il gruppo *STEAM education* svolge invece attività di ricerca in entrambe le aree di ricerca della Facoltà di Scienze dell'Educazione dell'Università di Helsinki e si focalizza in particolare sull'insegnamento, il coinvolgimento e l'apprendimento in scienze, matematica, biologia, fisica, chimica, informatica e tecnologia, anche in riferimento a creatività, innovazione e sviluppo sostenibile. Molti dei progetti attivati sono condotti nell'ambito della *Design Based Research* e tra questi assume particolare rilevanza il polo di ricerca “*Growing Mind*”³⁰. Quest'ultimo, avviato nel 2018, riunisce progetti nell'ambito dell'educazione e della psicologia e mira a produrre strumenti per il rinnovamento e lo sviluppo di scuole, insegnanti e studenti a livello personale, sociale e istituzionale. Esso porta dunque in primo piano le sfide

³⁰ <https://growingmind.fi/project/>

derivanti dalla digitalizzazione, gli obiettivi del nuovo curriculum di base, le competenze degli studenti del XXI secolo e lo sviluppo professionale degli insegnanti. La ricerca multidisciplinare del progetto *Growing Mind* è condotta in collaborazione con la città e le scuole di Helsinki e punta a generare un impatto sociale, attraverso una collaborazione tra operatori scolastici e ricerca accademica. Infine, il gruppo *Research in digital learning at schools*, guidato dal professor Kalle Juuti, approfondisce come gli strumenti digitali e la digitalizzazione stanno modificando l'insegnamento e l'apprendimento e come questi ultimi possono essere a loro volta modificati dagli strumenti digitali. In collaborazione con i ricercatori della facoltà e i partner del progetto, viene dunque analizzato il ruolo degli strumenti digitali a scuola e come essi possono essere applicati in modo innovativo per incentivare gli studenti a dare il loro contributo. Tra i topics di ricerca troviamo le emozioni e gli interessi degli studenti, l'apprendimento delle scienze, il pensiero computazionale e le invenzioni per la sostenibilità.

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, 2015b; MIUR, 2018). In particolare, il PNSD 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).

Come per i makerspace, 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"³¹ (2021).

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

³¹ https://www.istruzione.it/scuola_digitale/prog-stem.shtml

strumenti scientifici e digitali per esercitare al meglio la propria cittadinanza e allinearsi alle richieste dell'attuale mondo del lavoro.

2. Tecnologie e Nuovi Scenari

1. 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 origini dal "fallimento" della tecnologia digitale e dunque persino *glitch*, *bug*, errori di applicazione, crash di sistema, distorsioni e rumori di quantizzazione divengono 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 (Contreras-Koterbay, & Mirocha, 2016; Openshaw, 2015; Bishop *et al.*, 2017; Betancourt, 2017; Müller & Aich, 2019), l'architettura (Kolarevic, 2008; Spiller, 2009; Horn, 2017) e le scienze umane e sociali (Hall, 2013; Taffel, 2016; Berry & Dieter, 2015; Bayne & Jandrić, 2017; Jandrić *et al.*, 2018; Coventry University, 2018; Knox, 2019; Lamb *et al.*, 2022; 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 ad 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. Ciò impone un ripensamento degli schemi didattici tradizionali e una ri-mediazione (Bolter & Grusin, 2000) delle conoscenze, per superare l'approccio binario e gerarchico tra teoria e pratica (Rossi, 2019).

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.

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).

2. *Low and High Technologies in Education*

Accanto al binomio, ormai superato, tra vecchi e nuovi media, negli ultimi anni si è diffuso quello tra *low* e *high technologies*.

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 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. Esse consentono infatti il coinvolgimento nelle materie STEAM attraverso l'esperienza diretta e l'assortimento di materiali *high* e *low-tech* (Martinez & Stager, 2013; Ricciardi, Rini, & Villa, 2021).

Il *learning by making* non deve necessariamente far uso di macchine ad alta tecnologia (Martinez & Stager, 2013; Han, 2019). 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. A seconda del tema e del livello di specializzazione, i makerspace possono dunque 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 Arduino³², Raspberry Pi³³, Makey Makey³⁴, Little Bits³⁵ e i kit LEGO³⁶ (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 (vedi *rainbow*

³² <https://www.arduino.cc/>

³³ <https://www.raspberrypi.com/>

³⁴ <https://makeymakey.com/>

³⁵ <https://sphero.com/pages/littlebits>

³⁶ <https://education.lego.com/en-us>

*loom*³⁷), kit di costruzione (vedi *makedo*³⁸ o *k'nex*³⁹) o bioplastica modellabile (vedi *plastimake*⁴⁰ o *formcard*⁴¹).

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).

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*⁴² (HLT), rimasto operativo fino al 2014. L'intento era quello di coinvolgere un pubblico variegato nel progettare e costruire le 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.

³⁷ <https://rainbowlloom.com/>

³⁸ <https://www.make.do/>

³⁹ <https://www.basicfun.com/knex/>

⁴⁰ <https://www.plastimake.com/>

⁴¹ <http://formcard.com/>

⁴² <https://www.media.mit.edu/groups/high-low-tech/overview/>

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 & Barbeta, 2018; Schulz, 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 in classe guidato dalla pedagogia, piuttosto che un approccio guidato dalla tecnologia.

Come già espresso nel precedente capitolo, 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 autoformazione richiesta, dai cambiamenti nello stile di insegnamento e dai ritorni immediati che spesso le istituzioni si aspettano irrealisticamente (Ge *et al.*, 2015; Nicol *et al.*, 2018).

3. La robotica educativa

La rapida evoluzione tecnologica offre indubbiamente nuove opportunità in campo sociale ed educativo, ma apre al contempo nuove sfide nel modo di interpretare, comprendere e affrontare la vita quotidiana. 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 una delle tendenze dominanti nel panorama educativo contemporaneo di tutto il mondo (Cuartielles *et al.*, 2020) e 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 e 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 (1968; 1980) e di Papert e dei suoi colleghi del MIT (Papert, 1972; 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).

Nonostante le sue chiare origini, gli studiosi non convergono tuttavia su una definizione univoca del concetto.

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, l'impatto sul curriculum scolastico, l'integrazione del robot nell'attività e la modalità di valutazione (Fig. 6).

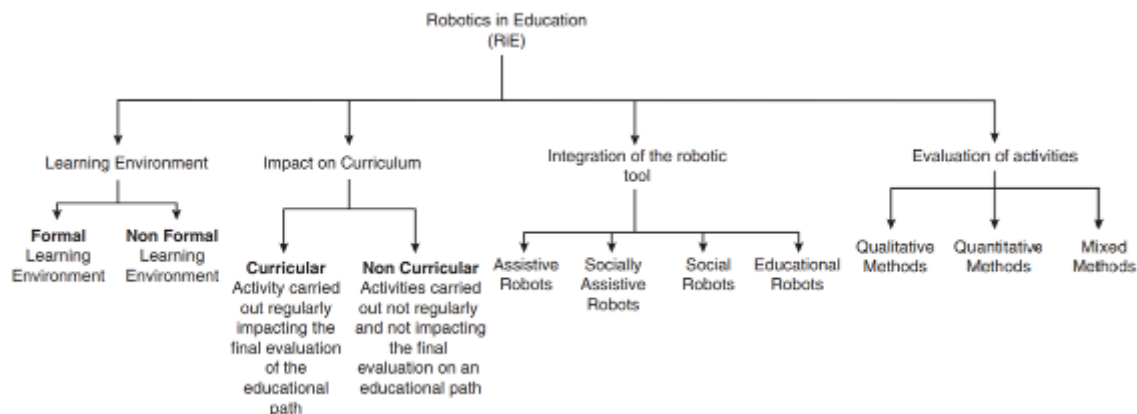


Fig. 6 – Classificazione della Robotica in Educazione (RIE).

Fonte: Scaradozzi, Screpanti e Cesaretti, 2019, p. 65.

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 (Foresi *et al.*, 2018);
- *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 (Pivetti *et al.*, 2020);
- *social robots* (o robot sociali) progettati per interagire con i soggetti in modo naturale e interpersonale fungendo da tutor o partner (Breazeal, Dautenhahn, & Kanda, 2016) 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 (Prist *et al.*, 2014) e le cosiddette *hard e soft skills*⁴³.

⁴³ Le cosiddette *hard skills* vengono associate alle competenze "tecniche" (es. 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

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 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; Norman, 1995).

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 (Atmatzidou & Demetriadis, 2016; Ioannou & Makridou, 2018), un *mindtool* (Mikropoulos & Bellou, 2013) o un veicolo (Angel-Fernandez & Vincze, 2018) per l'insegnamento e l'apprendimento. 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 (Ruzzenente *et al.*, 2012; Scaradozzi *et al.*, 2015; Angel-Fernandez & Vincze, 2018) che, in quanto tale, si occupa delle applicazioni educative e didattiche dei robot.

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.

La ricerca e le attività RE si stanno ormai estendendo a tutti i livelli di istruzione: dalla prima infanzia (si vedano ad esempio Komis & Misirli, 2016; Bers, 2008; Cejka, Rogers, & Portsmore, 2006; Eguchi, 2007; Kazakoff & Bers, 2012; 2014; Scaradozzi *et*

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 (es. chirurgo).

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. Ciò è dovuto non solo al contenuto cognitivo dell'abilità, ma anche alla comprensione del contesto, alla multidimensionalità di alcune competenze e alla notevole complessità comportamentale (Chell & Athayde, 2011).

al., 2015; Romero & Kamga, 2016; Chalmers, 2018; Misirli, Komis, & Ravanis, 2019; Bellas *et al.*, 2019; Eteokleous, Nisiforou, & Christodoulou, 2020; Gratani *et al.*, 2021) all'istruzione superiore (si vedano ad esempio Grover, 2011; Danahy *et al.*, 2014; Xenos *et al.*, 2017; Tan *et al.*, 2019; Parola *et al.*, 2021).

Nello specifico, i robot prevalentemente utilizzati, a partire dalla scuola d'infanzia, per il primo ciclo di istruzione sono: *Cubetto*⁴⁴, *Bee Bot* o *Blue Bot*⁴⁵, *DOC*⁴⁶, *Dash&Dot*⁴⁷, *LEGO® Education WeDo 2.0*⁴⁸, *LEGO® Education SPIKE™ Essential*⁴⁹ o *Prime*⁵⁰, *mBot*⁵¹, *LEGO® Mindstorms® EV3*⁵².

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 (es. smartphone, tablet, computer) connessi al robot via cavo o bluetooth/Wi-Fi. Nel primo caso, è possibile fornire semplici istruzioni al robot (es. 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 (Manches & Plowman, 2017; 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

⁴⁴ <https://www.primotoys.com>

⁴⁵ <https://www.terrapiologo.com/>

⁴⁶ <https://it.clementoni.com/products/doc>

⁴⁷ <https://www.makewonder.com/robots/dash/>

⁴⁸ <https://education.lego.com/en-us/products/lego-education-wedo-2-0-core-set/45300#wedo-20>

⁴⁹ <https://www.lego.com/en-us/product/lego-education-spike-essential-set-45345>

⁵⁰ <https://www.lego.com/en-us/product/lego-education-spike-prime-set-45678>

⁵¹ <https://store.makeblock.com/collections/diy-robot-kits>

⁵² <https://www.lego.com/en-us/product/lego-mindstorms-ev3-31313>

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 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 ad un'istruzione da eseguire ed è caratterizzato da una specifica forma e da un dato colore che rimandano ad una precisa categoria (es. movimento, aspetto, ecc.) e tipologia di comando (es. 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*⁵³ 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 Resnick⁵⁴ con l'intento di fornire ai ragazzi tra gli 8 e i 16 anni un

⁵³ <https://scratch.mit.edu/>

⁵⁴ 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

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*⁵⁵ per iPads, tablets Android e Chromebooks., dedicata appositamente ai bambini tra i 5 e i 7 anni.

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.

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

anni. Egli ha inoltre collaborato assieme al suo team all'ideazione di *Scratch* e allo sviluppo della tecnologia *programmable brick* (letteralmente, 'mattoncino programmabile') che ha ispirato il kit di robotica LEGO® Mindstorms.

⁵⁵ <https://www.scratchjr.org/>

Nonostante la mancanza di accordo sulla definizione di RE, si rileva un evidente consenso sul suo potenziale (Tegon & Labbri, 2021) e sul conseguente bisogno di formare insegnanti e futuri insegnanti. I prossimi sottoparagrafi approfondiscono dunque i principali vantaggi educativi ed inclusivi della RE e le questioni aperte legate alla formazione del corpo docente.

3.1. I vantaggi educativi e inclusivi

Come anticipato, la ricerca sulle applicazioni della robotica in ambito educativo è molto ampia e in continua evoluzione. Senza pretese di esaustività, si possono però evidenziare delle aree ricorrenti di impatto della RE in tale ambito.

3.1.1. STE(A)M e discipline

Un primo vasto filone di ricerca si è concentrato sull'utilizzo della RE per facilitare l'apprendimento delle discipline STE(A)M (si vedano ad esempio Kolberg & Orlev, 2001; Arís & Orcos, 2019; Sullivan & Bers, 2018; Eguchi & Uribe, 2017; Master *et al.*, 2017; Eguchi, 2016; Nugent *et al.*, 2010; Highfield, Mulligan, & Hedberg, 2008; Vollstedt, Robinson, & Wang, 2007; Hussain, Lindh, & Shukur, 2006; Nugent, Barker, & Grandgenett, 2014; Stergiopoulou, Karatrantou, & Panagiotakopoulo, 2017; Santos, Grebogy, & de Medeiros, 2019; Khanlari, 2019; Bellas *et al.*, 2019).

Tali studi mostrano 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 (Church *et al.*, 2010; Badeleh, 2021; Guastella & D'Amico, 2020), geometria e abilità spaziali (Brender *et al.*, 2021; Julià & Antolí, 2016; 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).

Infine, altri studi esplorano le potenzialità dei robot educativi per l'apprendimento delle lingue (si vedano ad esempio Segovia & de S. Souza, 2018; Psara & Christodoulidou, 2019).

3.1.2. Pensiero cognitivo e creativo

Correlati ai precedenti sono gli studi sul potenziale della RE nello sviluppo di abilità cognitive e metacognitive legate alla soluzione dei problemi (si vedano ad esempio Atmatzidou, Demetriadis, & Nika, 2018; Kamga *et al.*, 2017; Gratani *et al.*, 2021; Carbonaro, Rex, & Chambers, 2004; Agatolio *et al.*, 2019; La Paglia *et al.*, 2018; Turner & Hill, 2007; Castledine & Chalmers, 2011; Garavaglia *et al.*, 2018).

Come affermano Di Lieto e colleghi (2019), l'interesse per gli effetti della ER sui processi cognitivi alla base dell'apprendimento è aumentato esponenzialmente negli ultimi anni. 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, & Chiazese, 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 (si vedano ad esempio Eteokleous, Nisiforou, & Christodoulou, 2020; Botelho, Braz, & Rodrigues, 2012; Casado Fernandez & Checa Romero, 2020; Yang *et al.*, 2020; Badeleh, 2021).

3.1.3. Ambiente di apprendimento, *embodiement* e abilità socio-relazionali

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*⁵⁶ 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

⁵⁶ 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'.

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 enattiva⁵⁷ (Rossi, 2011) e una concezione enattiva 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 (si vedano ad esempio Master *et al.*, 2017; Menekse *et al.*, 2017; Hwang & Wu, 2014; Screpanti *et al.*, 2021; Lee, Sullivan & Bers, 2013).

3.1.4. Inclusione

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 (si vedano ad esempio Traverso & Pennazio, 2013; Grimaldi *et al.*, 2012; Giannandrea & D'Angelo, 2018; Bargagna *et al.*, 2019; Daniela & Lytras, 2019; Pennazio & Fedeli, 2019; Daniela & Strods, 2018; Conti, 2021; Bozzi & Merisio, 2021).

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

⁵⁷ 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 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.

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 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). A tal fine, Traverso e Pennazio (2013) invitano però a porre attenzione ad alcuni punti salienti: tipo di disabilità; obiettivi, tempi e strumenti (caratteristiche del supporto robotico, risorse aggiuntive); metodologie d'impiego; valutazione preliminare del contesto (ostacoli, distrazioni, spazio di lavoro, ecc.); attenta progettazione delle attività

(sfondo narrativo, gioco, esercizio cognitivo); ruolo dell'insegnante e dei compagni (tutor, guide); sensibilizzazione del gruppo; attivazione di tutti gli alunni.

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. 7).

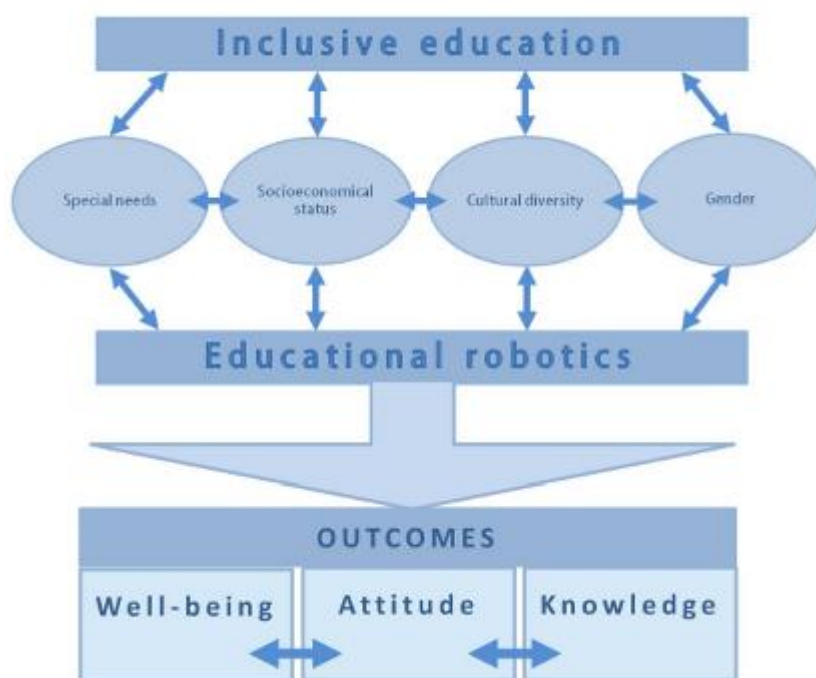


Fig. 7 – Modello concettuale dei risultati dell'uso della RE.

Fonte: Daniela e Lytras, 2019, p. 222.

3.1.5. Una questione di genere

Tra le dimensioni citate, molto discussa è la relazione tra RE e divario di genere (si vedano ad esempio Hartmann, Wiesner, & Wiesner-Steiner, 2007; Bagattini, Miotti, & Operto, 2021; Daniela & Strods, 2019; Schön *et al.*, 2020; Screpanti *et al.*, 2018).

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*⁵⁸ e *Roberta, Girls discover robots*⁵⁹ o l'organizzazione internazionale *Girls who Code*⁶⁰.

⁵⁸ <https://girlsinstem.eu/>. *Girls in STEM* è un progetto Erasmus+ finanziato dalla Commissione europea volto a dare alle ragazze la possibilità di perseguire i loro interessi nelle materie scientifiche, ingegneristiche, tecnologiche e matematiche (STEM). Attraverso questa iniziativa vengono quindi forniti esempi positivi, sostegno e opportunità per sperimentare le occupazioni STEM.

⁵⁹ <https://www.roberta-home.de/en>. L'iniziativa *Roberta, Girls discover robots* nasce nel 2002 per opera dell'Istituto Fraunhofer IAIS (*Institute for Intelligent Analysis and Information Systems*) di Bonn in risposta alla carenza di ragazze iscritte a corsi di studio in settori tecnico-scientifici. Il progetto si propone di promuovere

3.1.6. L'integrazione nel curriculum: opportunità e sfide

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).

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.

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 (2019a) 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

l'educazione tecnologica e l'interesse di bambine e ragazze verso il mondo della scienza, della tecnologia e delle TIC attraverso la RE. Negli anni ha già formato più di 1500 insegnanti e raggiunto più di 400.000 alunni.

⁶⁰ <https://girlswhocode.com/>. *Girls Who Code* è un'organizzazione volta a valorizzare diversità, equità ed inclusione, colmando il divario di genere nella tecnologia. Essa si concentra non solo sulla diversità di genere, ma anche sulle giovani donne che sono storicamente sottorappresentate nei campi dell'informatica. Dal 2012 l'organizzazione ha raggiunto 450.000 ragazze in tutto il mondo e la metà di esse provengono da gruppi storicamente sottorappresentati. Tra i valori fondanti dell'organizzazione troviamo coraggio, sorellanza e attivismo.

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 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 quindi 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).

3.2. *La formazione di insegnanti e futuri insegnanti*

In accordo con il pensiero di Negrini (2020), per promuovere l'integrazione della RE a scuola, è necessario riflettere non tanto sullo strumento in sé, ma piuttosto sugli insegnanti che ne faranno uso. L'efficacia della RE è fortemente influenzata dal modo in cui gli insegnanti la propongono ai loro alunni (Alimisis, 2009; Alimisis, 2013); la guida o il supporto dell'insegnante sono determinanti e diverse strategie determinano differenti effetti sul comportamento degli studenti (Zecca & Bozzi, 2021).

La scelta di utilizzare le tecnologie in classe è spesso sottesa a fattori oggettivi di carattere organizzativo-strumentale (Ranieri, 2011), ma tra i fattori cruciali per l'auspicata integrazione della RE nel curriculum scolastico vi è sicuramente la formazione del corpo docente. Come anticipato, la RE viene spesso presentata alla classe in occasione di PON o progetti extra-curricolari dove il docente riveste solitamente un ruolo marginale e poco attivo. Cicognini, Miotti e Bizzarri (2019) evidenziano infatti la carenza del coinvolgimento dei docenti nella progettazione e conduzione dei laboratori in diade con i formatori esperti.

Ciò si lega alla carenza di formazione e di *self-efficacy*⁶¹ (Bandura, 1993; 1994) degli insegnanti. Secondo Bandura (2010):

Se le persone non credono di poter produrre gli effetti desiderati con le loro azioni, sono poco incentivate a intraprendere attività o a perseverare di fronte alle difficoltà. Qualunque siano gli altri fattori che possono servire come guide e motivatori, essi sono radicati nella convinzione fondamentale di poter fare la differenza con le proprie azioni.

La questione della *self-efficacy* e della *self-confidence* ricorre in numerosi studi come elemento determinante (si vedano ad esempio Scaradozzi *et al.*, 2019b; Operto, 2021; Gratani, Giannandrea, & Renieri, 2021a; Gratani, Giannandrea, & Renieri, 2022).

A tal proposito, in un recente articolo dell'OCSE (2022, pp. 2-3) si legge:

C'è un consenso tra i ricercatori, i politici e i professionisti dell'istruzione sul fatto che l'autoefficacia degli insegnanti sia fortemente associata alle loro pratiche pedagogiche e alla qualità dell'istruzione. Quando si guarda all'insegnamento basato sulle TIC, un'alta autoefficacia è associata all'uso effettivo della tecnologia digitale in classe da parte degli insegnanti. Allo stesso modo, è stato suggerito che una distribuzione uniforme di insegnanti con un'alta autoefficacia TIC tra le scuole fornisce agli studenti

⁶¹ Bandura (1994) definisce la *perceived self-efficacy*, l'autoefficacia percepita, come «le convinzioni delle persone sulle loro capacità di produrre livelli designati di prestazioni che esercitano un'influenza sugli eventi che riguardano la loro vita. Le convinzioni di autoefficacia determinano come le persone si sentono, pensano, si motivano e si comportano».

Bandura (1993) esamina i diversi modi in cui l'autoefficacia percepita contribuisce allo sviluppo e al funzionamento cognitivo. L'autoefficacia percepita regola il funzionamento di quattro processi principali: cognitivi, motivazionali, affettivi e di selezione. Inoltre, l'autore individua tre diversi livelli su cui l'autoefficacia percepita contribuisce allo sviluppo accademico. Il primo livello riguarda le convinzioni degli studenti sulla loro efficacia nel regolare il proprio apprendimento e nel padroneggiare le attività accademiche, in grado di determinare le loro aspirazioni, il livello di motivazione e i risultati accademici. Gli altri due livelli si riferiscono invece alle convinzioni degli insegnanti sulla loro efficacia personale nel motivare e promuovere l'apprendimento e sulla loro efficacia istruttiva collettiva. Il primo tipo di efficacia incide sui tipi di ambienti di apprendimento generati e sul livello di progresso accademico dei loro studenti, mentre il secondo contribuisce significativamente al livello di risultati accademici delle loro scuole.

socio-economicamente svantaggiati la stessa opportunità di apprendere le competenze di alfabetizzazione digitale degli studenti avvantaggiati. [...] È interessante notare che questi insegnanti tendono anche a lavorare in scuole in cui la qualità dell'istruzione è supportata da un'adeguata tecnologia digitale, il che avviene in circa un terzo dei paesi partecipanti.

Promuovere le competenze digitali dei docenti influirà quindi, a sua volta, sulla misura in cui le opportunità offerte dalla tecnologia saranno sfruttate nel processo di apprendimento (Daniela, 2021). Gli stessi insegnanti considerano la formazione un fattore fondamentale per affrontare le innovazioni in ambito scolastico, sia nella fase iniziale della carriera che in itinere (Argentin, 2018; Operto, 2021). Inoltre, il campo delle tecnologie didattiche si configura come l'area di sviluppo professionale che raccoglie il maggior fabbisogno formativo degli insegnanti (INDIRE, 2016b; OECD, 2019).

A determinare questa carenza di autoefficacia è anche la messa in crisi del ruolo di esperto esclusivo della materia e quindi della propria autorevolezza e della disparità di ruoli e sapere. Il docente può infatti sentirsi "minacciato" dalla velocità e dalla padronanza con cui gli alunni si interfacciano alle tecnologie, rivelandosi talvolta persino più esperti degli insegnanti (Alimisis, 2019; Operto, 2021). Negli ultimi decenni abbiamo assistito all'emergere di un divario tra il rapido avanzamento della tecnologia e il lento cambiamento del sistema educativo e dei metodi di insegnamento (Camilleri, 2017). Di conseguenza, gli insegnanti presentano spesso un livello di competenze digitali inferiore a quello dei loro studenti e in gran parte non sono consapevoli di tutti i vantaggi che la tecnologia, e in particolare la robotica, possono offrire (Giannandrea, Gratani & Renieri, 2021).

Al docente si richiede quindi un ripensamento dei propri metodi educativi e didattici tradizionali, invertendo il processo di trasmissione *top-down* e agendo come una guida, un organizzatore, un coordinatore e un facilitatore del processo stesso di apprendimento (Alimisis, 2019; Rivoltella & Rossi, 2019; Grimaldi, 2015). I docenti devono essere pronti a reinventare il loro modo insegnare, accogliendo una varietà di metodi e strategie incentrati sull'allievo, anche con il supporto tecnologico (Di Stasio & Miotti, 2021).

Tale ripensamento non può prescindere da un rovesciamento di prospettiva. L'insegnante deve sperimentare in prima persona queste attività, compiere errori,

proprio come farebbero i suoi alunni, riformulare e riprogettare l'azione fino ad acquisire piena confidenza con gli strumenti e a scoprirne le principali insidie e potenzialità didattiche, operando come un «professionista riflessivo» (Schön, 1983). Le attività di riflessione e metacognizione divengono infatti centrali e devono accompagnare tutto il processo di sperimentazione, dalla fase iniziale, generativa e di attivazione, alla fase di programmazione, caratterizzata dalle domande *what-if*, alla fase di verifica e revisione finale, utile ad esplorare soluzioni alternative e a tracciare le proprie evoluzioni.

A tal fine, è necessario investire sulla professionalità dei docenti, anche attraverso percorsi di ricerca-formazione e ricerca-azione partecipata (Zecca, 2021). La maggior parte dei corsi di formazione per insegnanti si concentra sul fornire loro semplici conoscenze e competenze, mantenendo un approccio in cui i partecipanti non sono protagonisti attivi (Giannandrea, Gratani, & Renieri, 2020). La progettazione del corso deve promuovere forme di apprendimento attivo poiché più uno studente è attivo nel processo di apprendimento, più il processo di apprendimento è centrato sullo studente. Alcuni studi inoltre evidenziano una differenza significativa tra ciò che gli insegnanti pensano delle proprie capacità e la loro effettiva pratica didattica (Heitink *et al.*, 2016; So & Kim, 2009), richiedendo un'attenzione specifica al ragionamento degli insegnanti sull'uso della tecnologia.

In letteratura sono così sorte numerose riflessioni e proposte per supportare gli insegnanti nel loro percorso di innovazione con la tecnologia e la RE (si vedano per esempio Bers *et al.*, 2002; OECD, 2010; Alimisis, 2012; Benitti, 2012; Lee & Lee, 2014; Wang *et al.*, 2014; Scaradozzi *et al.*, 2015; Agatolio *et al.*, 2017).

Le esperienze formative sulla RE rivolte ai docenti in servizio e ai futuri docenti risultano però ancora limitate (Scaradozzi *et al.*, 2019a). Oggi introdurre la tecnologia a scuola non è abbastanza; per avere successo in campo educativo, la RE, al pari della *Maker Education*, ha bisogno di «professionalizzare la propria offerta», per dirlo con le parole di Cuartielles e colleghi (2020, p. 173). Fornire agli insegnanti supporto e opportunità per impegnarsi in attività pratiche con la RE consentirebbe loro di bilanciare contenuti ed esperienze, acquisire fiducia in se stessi e diminuire i propri timori, essendo così incoraggiati ad integrare le tecnologie nella loro pratica didattica (Mallik, Rajguru, & Kapila, 2018; Khanlari, 2019; Gratani, Giannandrea, & Renieri, 2021b).

Incidere sulle competenze psicopedagogiche dei docenti può rivelarsi dunque un elemento facilitante (Operto, 2021).

Alla luce di quanto detto, i futuri docenti rappresentano una categoria chiave su cui investire, poiché nel periodo di istruzione universitaria essi iniziano a costruire la propria identità professionale (Giacomassi Luciano *et al.*, 2019; Gabriele *et al.*, 2020).

Inoltre, come evidenziato nel par. 3.1.4., la RE ha dimostrato di esercitare un forte potenziale nella promozione di un'educazione inclusiva. Pertanto, appare necessario curare anche la formazione degli insegnanti di sostegno (Agatolio *et al.*, 2017). Il fine non è solo quello di migliorare le loro competenze digitali, acquisendo nuovi strumenti e metodologie, ma soprattutto di favorire la capacità di progettare una didattica digitale inclusiva (Gratani, Giannandrea, & Renieri, 2021a). Un'accurata revisione letteraria sulla formazione dei docenti in servizio e pre-servizio sui temi del coding e della RE è riportata in Giannandrea, Gratani e Renieri (2021).

La formazione su questi temi viene generalmente fornita attraverso corsi in presenza ed extracurricolari rivolti principalmente agli insegnanti in servizio. Tuttavia, la recente emergenza sanitaria e le esigenze appena enucleate ci hanno indotto ad affrontare la necessità di formare futuri docenti curricolari e di sostegno su questi argomenti attraverso corsi curricolari esperienziali a distanza.

Una simile esperienza si può trovare in Gratani, Giannandrea e Renieri (2022). Lo studio ha coinvolto 200 studenti iscritti al terzo anno del corso di laurea in Scienze della Formazione Primaria e 49 studenti iscritti al corso di specializzazione per il sostegno alla scuola dell'infanzia, entrambi erogati dall'Università degli studi di Macerata (MC), in due corsi esperienziali a distanza su coding e RE, rispettivamente di 15 e 23 ore. I corsi sono stati inseriti nella didattica curricolare per verificarne l'impatto su conoscenze, *self-confidence* (SC) e convinzioni dei partecipanti verso la RE. Il confronto dei dati pre e post-corso è risultato soddisfacente non solo per il miglioramento delle conoscenze, ma soprattutto per l'impatto sulla SC verso il coding e la RE (Fig. 8). Infatti, mentre il miglioramento delle conoscenze può essere considerato un risultato atteso e abituale di un corso di formazione, il progresso della SC è senza dubbio meno prevedibile.

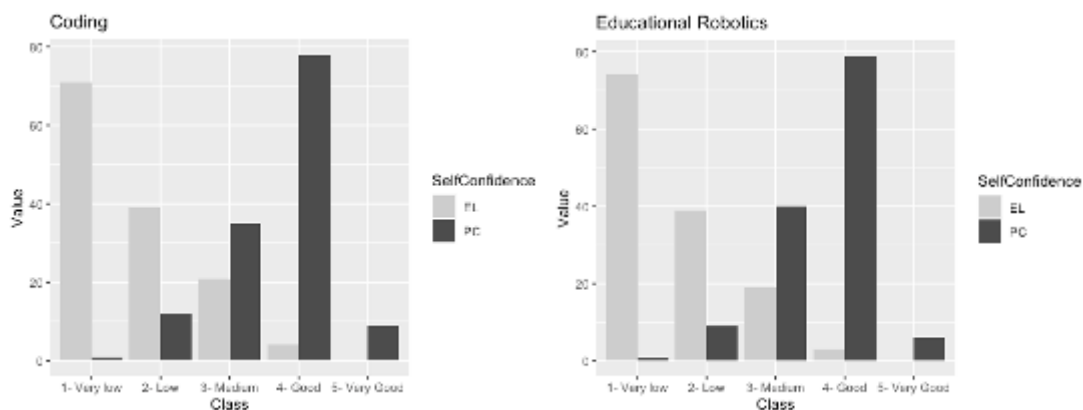


Fig. 8 – Dati del questionario SC pre-corso (EL) e post-corso (PC) relativi al coding e alla RE.

Fonte: Gratani, Giannandrea e Renieri, 2022, pp. 26-27.

Risultati positivi sono emersi anche in termini di convinzioni dei partecipanti e di soddisfazione rispetto ai corsi. Riteniamo che ciò sia dovuto principalmente alla possibilità di: (i) mettere in pratica le conoscenze teoriche durante gli incontri o a casa; (ii) sperimentare esercizi/compiti di difficoltà crescente; (iii) ricevere feedback immediati o asincroni dai formatori e spesso dai pari; (iv) progettare in gruppo un'attività o un percorso utilizzando conoscenze e metodologie e ottenere un archivio condiviso di percorsi pronti per essere realizzati; (v) collaborare e condividere. L'emergenza Covid-19 ci ha portato ad affrontare la sfida di formare su questi temi in una modalità completamente online. Questo ha aperto nuove strade di ricerca su nuovi modi di collaborare a distanza e familiarizzare con strumenti che generalmente richiedono un approccio *embodied* (Gratani, Giannandrea, & Renieri, 2021a). Tecniche rilevanti per promuovere l'apprendimento attivo negli ambienti online sono dunque l'apprendimento basato sui problemi, l'apprendimento collaborativo e cooperativo e la simulazione dei giochi di ruolo (Sutiah *et al.*, 2020). Particolarmente utile è stato inoltre l'utilizzo di strumenti e risorse facilmente accessibili a tutti, anche a distanza (come piattaforme di emulatori online, l'app *ScratchJr*, tessere per il coding e percorsi stampabili o riproducibili su carta). L'esperienza riportata rappresenta un primo tentativo per introdurre questi argomenti nell'insegnamento curricolare dei futuri docenti attraverso un approccio di apprendimento esperienziale. La reale efficacia dei corsi dovrebbe essere rilevata più profondamente monitorando i partecipanti durante le loro future esperienze di lavoro in classe.

Per quanto concerne la formazione dei docenti in servizio, interessanti sono i dati emersi da un *follow-up* relativo ad un altro studio, presentato in Gratani, Giannandrea e Renieri (2021b). Il paper riporta i risultati di un corso di formazione su coding e RE per insegnanti e di un *follow-up* condotto a distanza di un anno. Il corso, erogato anch'esso online dall'Università degli studi di Macerata, ha coinvolto 41 insegnanti dell'istituto "Egisto Paladini" di Treia (MC), dalla scuola dell'infanzia alla scuola secondaria di primo grado. In questo caso sono state indagate le conoscenze di base sui dispositivi di coding presentati e sulla progettazione, le aspettative e la soddisfazione rispetto al corso e i diversi atteggiamenti rispetto alla futura progettazione e implementazione di simili attività. I dati post-corso rivelano un generale aumento delle conoscenze dei partecipanti e prospettive positive rispetto all'implementazione delle attività (77%) per merito della conoscenza di base di strumenti/strategie e della maggiore fiducia in se stessi derivante dalla possibilità di sperimentare in prima persona. Gli insegnanti inoltre hanno espresso la volontà di proporre attività interdisciplinari ed evidenziato alcuni dei possibili vantaggi: aumentare la motivazione e l'interesse dei soggetti, sviluppare capacità di pensiero creativo/computazionale e promuovere attività collaborative.

Dopo quasi un anno, abbiamo condotto un *follow-up* attraverso un focus group con insegnanti che avevano svolto attività di coding-RE nelle loro classi. Il focus group ha confermato alcune delle questioni emerse dai questionari finali; in particolare, la promozione delle competenze sociali promosse da tali attività e la rilevanza degli aspetti emotivi/motivazionali per un impatto positivo sull'apprendimento. Gli insegnanti non hanno trovato difficoltà nell'introdurre attività di coding-robotica, se non per questioni logistiche e organizzative legate alla situazione pandemica. Infine, tutti i docenti dei diversi ordini di scuola hanno evidenziato la volontà di portare avanti tali attività nella propria classe e di continuare la formazione su questi temi per scoprire nuovi strumenti e tecnologie.

Lo scopo dei corsi di formazione sulla RE non è solo quello di conoscere, costruire e programmare un robot, ma anche di sensibilizzare gli insegnanti sui benefici educativi della robotica (Negrini, 2019) e fungere da stimolo per nuove intuizioni, incoraggiandoli ad approfondire ciò che hanno imparato e fornendo loro maggiore fiducia per sperimentare in classe (Gratani, Giannandrea, & Renieri, 2021b).

Nello studio di caso riportato da Zecca (2021), è stata condotta un'analisi metacognitiva delle pratiche degli insegnanti, avvalendosi anche di registrazioni video. Gli autori hanno così identificato tre diversi approcci alla RE tra gli insegnanti:

1. *content-based learning*: il laboratorio è concepito come uno spazio in cui testare contemporaneamente l'acquisizione di conoscenze e la capacità di applicarle;
2. *cooperative learning*: i problemi vengono risolti in modo creativo e si insiste sulla capacità di lavorare in gruppo;
3. *problem-based learning*: il focus è sul dialogo tra pari, su una progettazione autonoma e condivisa e sul testare le competenze acquisite durante precedenti laboratori di RE.

Molto promettenti sono infine gli esiti del progetto PROMISE (già citato nel par. 3.1.3. del presente capitolo). Il progetto, finanziato dal MIUR e realizzato grazie alla collaborazione di molti enti pubblici e privati, mirava a creare una rete nazionale che coinvolgesse scuole, musei e aziende e a formare 36 insegnanti e 24 esperti sull'uso della RE in contesti di apprendimento. Gli insegnanti e gli esperti hanno frequentato un corso di formazione e hanno anche svolto uno stage di 36 ore per applicare le competenze acquisite a scuola o nei musei. I colloqui con i docenti durante e dopo lo stage hanno mostrato un miglioramento della motivazione e della sensazione di efficacia relativa al proprio metodo di insegnamento. I docenti hanno infatti riscontrato benefici nel mantenere l'attenzione degli alunni, nel coinvolgerli negli argomenti trattati, nel rompere la monotonia dell'insegnamento tradizionale e quindi nel rendere il loro lavoro più gratificante. In tal modo, la RE è risultata un facilitatore anche per gli insegnanti, migliorando il loro rendimento nel contesto lavorativo (Guastella & D'Amico, 2020).

4. La *digital fabrication* e la stampa 3D

Accanto alla RE, uno spazio prioritario nell'ambito della *Maker Education* è riservato alla *digital fabrication*. 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 segnano una rivoluzione nell'atto del making e della produzione per il ventunesimo 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 *digital fabrication* o 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 ad 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*) (es. 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 (es. 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. Le ragioni di questa crescente notorietà sono certamente molteplici, ma in primo luogo va considerato l'enorme progresso tecnico di una particolare tecnica additiva, la stampa 3D (Bocola, 2011).

4.1. La storia della stampa 3D

Le 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 ad una continua evoluzione e aperta ad innumerevoli scenari di sviluppo (Guasti, 2017).

La nascita della stampa 3D è associata all'invenzione della stereolitografia ad opera dell'ingegnere Chuck Hull nel 1982. La stereolitografia è una tecnologia laser che impiega una resina liquida sensibile ai raggi UV: un fascio laser a raggi UV viene proiettato sulla superficie della resina, disegnando strati che si induriscono e si polimerizzano fino a generare la forma desiderata. Ottenuto il brevetto nel 1986 per una stampante 3D stereolitografica, Hull fonda poi la nota azienda "3D Systems"⁶² a Valencia, dando vita al *rapid prototyping* e al formato .STL. Da allora le stampanti 3D iniziano una rapida e inarrestabile evoluzione.

Nello stesso anno, infatti, due ricercatori americani sviluppano la *Selective laser sintering*, ovvero la sinterizzazione laser selettiva, che si distingue dalla precedente per l'utilizzo di polvere di diversi materiali al posto della resina liquida. In questo caso, la funzione del laser è quella di sintetizzare e quindi saldare fra loro le piccole particelle solide. I prototipi ottenuti con questa tecnologia sono più resistenti rispetto a quelli ricavati con stereolitografia, ma la superficie porosa conferisce ad essi un aspetto finale grezzo e meno gradevole.

⁶² <https://www.3dsystems.com/>

Successivamente, un'ulteriore modifica viene apportata da Scott Crump, fondatore della “Stratasys”⁶³ assieme alla moglie Lisa, che nel 1988 brevetta la *Fused Deposition Modeling* (FDM), ovvero la modellazione a deposizione fusa. Tale tecnica si basa sulla fusione e distribuzione di filamenti plastici in strati sovrapposti su una superficie piana per generare l'oggetto dal basso verso l'altro. La FDM è oggi alla base del funzionamento di numerose stampanti 3D.

Altri importanti traguardi sono segnati dal MIT nel 1993 con la *Three dimensional printing*, che ha consentito la stampa a colori e una maggiore fedeltà di riproduzione degli oggetti e dal Fraunhofer Institute nel 1995 con il metodo del *Selective laser melting*, che permise di raggiungere livelli di densità di stampa molto più elevati.

Una svolta nella diffusione delle stampanti 3D, anche ad uso privato, si rintraccia nei primi anni del 2000 con l'invenzione inglese di una stampante con capacità di auto replicazione, quindi in grado di fabbricare i suoi stessi componenti. L'invenzione avviene nell'ambito del progetto “RepRap”⁶⁴, abbreviazione di *Replicating Rapid Prototyper*, fondato nel 2005. Qualche anno dopo, per facilitare il processo di costruzione e rendere il prodotto maggiormente fruibile, la società americana *MakerBot Industries*⁶⁵ crea la prima stampante acquistabile in scatola di montaggio imprimendo un'accelerazione nel commercio delle stampanti vendute in kit o assemblate in fabbrica.

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 piana 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;

⁶³ <https://www.stratasys.com/>

⁶⁴ <https://reprap.org/wiki/RepRap>

⁶⁵ <https://www.makerbot.com/>

- 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 ad una temperatura più elevata. Alcune stampanti possono passare da un tipo di filamento all'altro.

Nella scelta della tipologia della stampante è fondamentale considerare lo scopo finale della stampa. In ambito educativo, risultano prevalentemente diffuse le stampanti FDM. Queste ultime, infatti, grazie ad 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 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.

4.2. La digital fabrication 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 ad esplorare le implicazioni educative apportate dalla rivoluzione della fabbricazione digitale (Bull & Garofalo, 2009). Essa si fonda su processi di *design thinking* e produzione di artefatti personali (Gershenfeld, 2005) che promuovono la curiosità e la motivazione degli alunni (Lipson & Kurman, 2013). 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).

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 (Schelhowe, 2013) e di impattare su un contesto di vita reale attraverso un'esperienza *embodied* vissuta in prima persona.

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*"⁶⁶ 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 come luoghi dirompenti dove gli studenti possono fare, costruire e condividere in sicurezza le loro creazioni. Tra i primi risultati dei

⁶⁶ Il progetto *FabLab@School* è stato implementato in 28 scuole in sette paesi, direttamente o attraverso partner internazionali, 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 (tra cui Arduino, Lilypad e GoGo Board), la fabbricazione digitale (ad esempio attraverso stampanti 3D, frese laser o CNC) e la prototipazione rapida.

laboratori, l'autore 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. 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 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.

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. Evitare dunque il sistema di incentivi derivante dalla possibilità di ricavare pezzi esteticamente attraenti con poco sforzo;
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 normale esperienza scolastica;
3. riconfigurare i confini artificiali tra le discipline per apprezzare la ricchezza derivante da «potenti progetti interdisciplinari» (ad esempio, la matematica può divenire una necessità in un progetto di storia o la musica in uno di robotica);
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.

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).

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; Resnick, 2007). 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 fantasie 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. Secondo gli autori, l'autoefficacia rappresenta 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. L'autoefficacia si lega quindi al già citato concetto di *empowerment*, permettendo al soggetto di guadagnare fiducia non solo per vivere nel mondo digitalizzato, ma anche per contribuire attivamente ad esso.

4.2.1. Le stampanti 3D e i software CAD

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. 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; Kostakis, Niaros, & Giotitsas, 2015), ma anche all'apprendimento delle materie STEAM, favorito dalle attività di prototipazione fisica (Berry *et al.*, 2010; Horowitz & Schultz, 2014; Ford & Minshall, 2019). 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:

- necessità di tempi distesi per progettazione e stampa;
- elevata quantità di tempo di stampa in rapporto alla dimensione degli oggetti;
- 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*”⁶⁷, 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.

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. Martinez e Stager (2013) riassumono il comune flusso di lavoro della stampante 3D in tre step:

1. Progettazione: idee e progetti esistenti → CAD (progettazione) → file STL;
2. Preparazione per la stampa: STL → CAM (*slicing*) → codice G;
3. Stampa: codice G → pannello di controllo della stampante software → oggetto 3D.

Gli step variano ampiamente in base alla stampante e alla scelta del software CAD. Il primo passo per la progettazione di un oggetto stampabile in 3D è l'ideazione. L'oggetto può essere ideato e progettato da zero o a partire da librerie di progetti esistenti. Queste librerie raccolgono contributi di persone da tutto il mondo e sono disponibili online su

⁶⁷ <https://www.indire.it/progetto/maker-a-scuola/>

appositi siti come *Thingiverse*⁶⁸ o su software CAD. Questi siti hanno chiari termini di utilizzo che permettono a chiunque di caricare il proprio progetto, specificando diritti ed eventuali limitazioni d'uso e di scaricare e utilizzare i modelli altrui. Molti siti usano licenze *Creative Commons* (CC) per supportare la condivisione. La progettazione dell'oggetto 3D viene quindi realizzata attraverso un programma CAD per poi essere salvata nel formato .STL, che contiene tutti i dati necessari per la stampa 3D.

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*⁶⁹. 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 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 quindi 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 svolgere e ricevere i progetti completati in *TinkerCAD*. Oltre alla

⁶⁸ <https://www.thingiverse.com/>

⁶⁹ <https://www.tinkercad.com/>

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, di cui si riportano i principali tratti distintivi:

- *SugarCAD*⁷⁰: nato nell'ambito della sperimentazione del progetto di ricerca "Maker@Scuola", è un software di modellazione 3D gratuito sviluppato tenendo conto delle esigenze del mondo scolastico. Il software è web based, quindi accessibile direttamente dal browser oppure fruibile all'interno del sistema in3D anche in assenza di connessione internet. *SugarCAD* è stato sviluppato e ottimizzato per poter funzionare anche su dispositivi diversi dal tradizionale computer, come tablet, tavoli interattivi o LIM. Presenta un'interfaccia semplice ed intuitiva per essere utilizzato fin dalla scuola dell'infanzia e varie interfacce multiple tra cui scegliere in base al livello di esperienza. Può essere testato anche in forma anonima, senza effettuare la registrazione. È possibile creare nuove forme o riutilizzare gratuitamente quelle già pronte e condividerle con la community di *SugarCAD*;
- *SketchUp*⁷¹: è una delle applicazioni di modellazione 3D più utilizzate per la progettazione architettonica, l'urbanistica, l'ingegneria civile e lo sviluppo di videogiochi. Oggi esistono diverse versioni di *SketchUp* che si distinguono per i termini di licenza, le potenzialità e le caratteristiche funzionali. *SketchUp for Schools* è il principale strumento di modellazione di *SketchUp* disponibile gratuitamente su browser per le scuole primarie o secondarie iscritte a *G Suite for Education* o *Microsoft Education*. Integrato con Google Drive e Microsoft OneDrive. Funziona sui Chromebook e su qualsiasi altro computer connesso a Internet ed è disponibile nel Marketplace delle app di G Suite for Education o nel Microsoft Education Store;
- *LeoCAD*⁷²: sviluppato da alcuni membri della LEGO Community virtuale, è un programma per la creazione di oggetti tridimensionali composti da mattoncini LEGO. *LeoCAD* offre un archivio virtuale che comprende circa 1600 tipi di pezzi LEGO, distribuiti in 33 categorie e disponibili in 28 colori. L'applicazione permette

⁷⁰ <https://3d.indire.it/index.php?act=SugarCAD>

⁷¹ <https://www.sketchup.com/it>

⁷² <https://www.leocad.org/>

di visionare contemporaneamente prospettive multiple del modello e di salvare le varie fasi di costruzione in formato immagine o animazione, generando una libreria di istruzioni di montaggio. Presenta un'interfaccia intuitiva e dispone di un ricco set di funzionalità più o meno avanzate. *LeoCAD* è *open-source* e disponibile per Windows, Linux e Mac OS;

- *3D Slash*⁷³: è un software multiplatforma basato su *Minecraft* e sviluppato da una startup francese. È progettato per i bambini dai 5 anni in su e per chiunque si voglia avvicinare alla progettazione 3D in maniera divertente. La versione base dell'app è gratuita ma necessita di registrazione. La registrazione alla versione gratuita permette di utilizzare la versione web, lo storage online e una limitata varietà di colori e di testare l'app. A pagamento si può invece scegliere tra le versioni *Premium!*, *Schools* e *Professionals*. Il software è disponibile per Windows, Mac OS X, Linux e Raspberry Pi.

Il secondo step di stampa 3D consiste poi nel preparare il file .STL, generato dal software CAD, attraverso programmi *Computer Aided Manufacturing* (CAM). I programmi CAM permettono di rilevare eventuali errori (es. disconnessioni tra le parti), di effettuare il processo di *slicing*, ovvero di dividere il modello in strati o fette, e di creare le istruzioni per la stampante (es. densità di riempimento dell'oggetto, velocità di stampa e altri parametri). Queste istruzioni digitali sono chiamate *G-code* o codice G. Le funzionalità CAM sono spesso incluse nel software di controllo fornito con la stampante 3D.

Il terzo ed ultimo step completa il flusso di lavoro della stampa 3D. Il codice G viene trasferito alla stampante 3D che procede alla stampa dell'oggetto. Per questo step si consiglia di seguire le istruzioni fornite nel manuale della stampante. Tramite il software di controllo sarà possibile regolare la posizione della testina e il letto della stampante in modo che sia livellato e calibrato. Gran parte delle stampanti 3D economiche e adatte alle classi usano i software *open source ReplicatorG*⁷⁴ o *Ultimaker Cura*⁷⁵.

⁷³ <https://www.3dslash.net/index.php>

⁷⁴ <http://replicat.org/>

⁷⁵ <https://ultimaker.com/it/software/ultimaker-cura>

4.2.2. *Le penne 3D*

Un'alternativa più economica alla stampa 3D, e in un certo senso propedeutica ad essa, è rappresentata dalle penne 3D. Le penne 3D costituiscono un'evoluzione delle tradizionali penne utilizzate per la scrittura poiché, a differenza di quest'ultime, si servono di un filamento PLA o ABS per “scrivere” su tre dimensioni. La plastica ABS è più indicata per la realizzazione di forme 3D flessibili che si sviluppano verso l'alto, mentre quella PLA si presta per disegni sul vetro o altre superfici metalliche. Come le pistole per la colla a caldo, esse rilasciano nello spazio un tratto molto sottile di plastica fusa che fuoriesce dall'ugello e si solidifica in un tempo brevissimo. Le penne 3D sfruttano lo stesso meccanismo di fusione ed estrusione delle stampanti 3D. Tuttavia, in questo caso, l'artefatto tridimensionale non è generato da una macchina che esegue autonomamente le istruzioni date, ma dai movimenti tracciati a mano libera dall'utente stesso. Il funzionamento delle penne 3D è molto semplice e predilige buone abilità manuali piuttosto che particolari abilità informatiche. Come per le stampanti 3D, esistono numerosi modelli più o meno sofisticati destinati ad utenti con vari livelli di esperienza, dai novizi ai professionisti del settore. Alcuni modelli di penne 3D, ad esempio, consentono la regolazione della temperatura di fusione del filamento e della sua velocità di uscita. Il grado di professionalità delle penne incide indubbiamente sulla qualità dei risultati prodotti.

Le penne 3D offrono vastissime possibilità di applicazione in ambito didattico. Basti pensare alla costruzione di forme e solidi geometrici in matematica e geometria (Ng & Ye, 2022; Ng, Shi, & Ting, 2020; Ng & Ferrara, 2020), di modellini in architettura e scienze, di sculture e composizioni in arte, della struttura di atomi e molecole in chimica (Dean, Ewan, & McIndoe, 2016). Come già riportato per la stampa 3D, tali attività facilitano la comprensione di concetti generalmente complessi e astratti, grazie alla concretezza e alla tangibilità degli oggetti prodotti. In aggiunta a ciò, si favorisce la comprensione del passaggio dal bidimensionale al tridimensionale e lo studio dello spazio (Rosenski & Palatnik, 2022). Il collegamento tra esperienza progettuale-ingegneristica ed esperienza visivo-manuale può infatti incidere notevolmente sulla percezione visuo-spaziale degli alunni.

El-Ashry e colleghi (2021) sottolineano, inoltre, il potenziale delle penne 3D nel supportare pratiche di storytelling e una collaborazione creativa verbale e visiva. Nel

loro studio esplorativo, alunni di scuola primaria utilizzano infatti questi strumenti per creare storie multimodali intorno ai temi dell'ecologia e del cambiamento climatico, arricchite da elementi audio e tattili per stimolare la riflessione. Le penne 3D possono dunque sollecitare i canali tattili, cinestesici e visivi degli studenti e incoraggiarli a partecipare attivamente non solo alle attività artistiche ma anche alle scienze, diversificando i metodi di insegnamento e migliorando la concentrazione. Infine, possono essere usate come utili strumenti di saldatura per riparazioni varie e per perfezionare le stampe 3D.

La penna 3D è una tecnologia relativamente nuova la cui applicazione all'istruzione non è ancora stata indagata in maniera significativa. Tuttavia, gli studi condotti finora mettono in luce anche i seguenti svantaggi:

- elevato consumo di plastica;
- elevata temperatura di fuoriuscita della plastica che comporta cautela e supervisione, soprattutto per la fascia k-12;
- possibile intasamento di materiale e conseguente surriscaldamento della punta della penna;
- fragilità degli artefatti, soprattutto nell'approccio iniziale;
- necessità di tempo e pratica per produrre artefatti più raffinati e resistenti.

Tra i modelli in commercio, si segnala la linea *3Doodler*⁷⁶, che prende il nome dal termine inglese *doodle*, 'scarabocchio', e che ha dato origine alla prima penna 3D della storia. La linea offre quattro varianti di penne 3D distinte per fasce di età (4+; 6-13; 14+; adulti) accompagnate da tappetini, stencils, tutorial e piani lezione con guide e spunti per la creazione. *3Doodler* mette a disposizione anche un'applicazione che fornisce modelli a cui appoggiarsi tramite dispositivi mobili.

4.2.3. I laser cutters e i cutting plotters

Tra gli strumenti per la fabbricazione digitale sottrattiva, un'attenzione particolare va ai *laser cutters* e ai *cutting plotters*. Assieme alle stampanti 3D, le macchine laser e i

⁷⁶ <https://intl.the3doodler.com/>

plotter da taglio rientrano ormai nella dotazione strumentale di base di un FabLab. La loro adozione ha registrato un incremento nelle università e negli istituti tecnici, ma risulta ancora molto sporadica nelle scuole del primo ciclo, ad eccezione di quelle dotate di un FabLab o di un makerspace.

I plotter da taglio sono molto simili alle stampanti convenzionali ma, anziché riprodurre pixel su carta, producono grafica vettoriale su vari tipi di materiale, come vinile, carta, cartone, legno sottile, plastica, pellicola adesiva, stoffa, gomma e feltro. Il taglio avviene meccanicamente intagliando la superficie per realizzare grafici, scritte e una varietà di forme.

La tecnica laser, a differenza del plottaggio, rimuove la superficie di materiale sfruttando un processo di taglio termico senza contatto. Ciò consente di lavorare un maggior numero di tipologie e spessori di materiali e di generare forme anche complesse in modo particolarmente rapido, preciso ed efficiente. Inoltre, in tal modo, le superfici del materiale non vengono danneggiate o schiacciate e la macchina ha meno probabilità di usurarsi. Le macchine laser ricordano delle grandi fotocopiatrici e, grazie alla possibilità di lavorare molteplici materiali, si dimostrano funzionali ad un'ampia gamma di applicazioni. Nelle università, nei FabLab e nelle officine tali strumenti sono spesso utilizzati per progetti legati a design industriale, progetti di arte e design, allestimenti sperimentali, moda, ecc. Tra i materiali principalmente lavorati troviamo: metalli, vari materiali sintetici e plastici, carta, cartone e legno, tessili, acrilico.

Queste tecnologie sono divenute più economiche negli ultimi anni, permettendone la diffusione tra utenti non professionisti e l'integrazione in contesti educativi (Saorín *et al.*, 2018). In campo educativo si prediligono strumenti accessibili e di semplice utilizzo, che non richiedano un'installazione complessa, che possano essere trasportati facilmente e che non producano rifiuti. In tal senso, il plotter da taglio si configura come l'alternativa più funzionale tra le macchine da taglio per l'uso in ambienti scolastici (Bonnet de León *et al.*, 2019). Questo strumento, infatti, è utile per tagliare rapidamente elementi di piccolo e medio spessore, emette poco rumore, non rilascia rifiuti tossici o fumi e non risulta pericoloso. I plotter risultano quindi di semplice utilizzo e perfettamente compatibili con la maggior parte dei computer e dei file immagine con cui si lavora solitamente a scuola. Tra i modelli disponibili troviamo *Cameo*⁷⁷ e *Curio*⁷⁸

⁷⁷ <https://www.silhouetteamerica.com/featured-product/cameo>

della società Silhouette, la *Cricut*⁷⁹, la serie *Stika*⁸⁰ della società Roland, o *ScanNcut*⁸¹ di Brother. Alcuni di essi vengono venduti assieme ad una borsa da trasporto con ruote che ne facilita lo spostamento.

Il plotter da taglio e il laser cutter eseguono il taglio a partire da un file digitale, realizzato attraverso un software di disegno vettoriale (es. *AutoCAD*, *Rhinoceros*, *Illustrator*, *Inkscape*). Il file è composto da oggetti geometrici come punti, segmenti, poligoni, archi o linee che costituiscono il design delle parti da tagliare e ha proprietà matematiche come forma, posizione e così via. Tra i comuni formati di grafica vettoriale troviamo *.SVG (Scalable Vector Graphic)* e *.DXF (Drawing Exchange Format)*.

In base al prodotto che si vuole ottenere, la fabbricazione con macchine da taglio può essere un'alternativa vantaggiosa alla stampa 3D, specialmente se si considera il rapporto tra tempo, dimensioni e quantità.

L'articolo di Bonnet de León e colleghi (2019) discute un'attività di progettazione e fabbricazione digitale a basso costo che ha coinvolto 72 studenti della scuola secondaria nella realizzazione di carte pop-up tramite applicazioni di disegno vettoriale gratuite su dispositivi mobili e un plotter da taglio portatile. L'87,50% dei partecipanti non aveva alcuna conoscenza del disegno vettoriale e il 97,22% degli studenti non aveva mai usato un plotter da taglio. I risultati della sperimentazione dimostrano che la fabbricazione digitale tramite plotter da taglio e applicazioni per disegno vettoriale è fattibile nell'istruzione secondaria senza la necessità di creare un FabLab a scuola. Tutti gli studenti hanno infatti imparato ad eseguire disegni vettoriali e ad usare il plotter. Inoltre, nel questionario finale, la maggioranza di essi ha dichiarato di aver imparato nuovi strumenti digitali, di essere soddisfatto del risultato ottenuto e di raccomandare l'uso delle tecnologie di taglio per altre materie.

In letteratura troviamo poi altri studi inerenti all'applicazione di *laser cutters* in scuole superiori (si vedano ad esempio Dean *et al.*, 2019; Flowers, Wierzbicki, & Weldy, 2020; Covadonga, 2017). Tali esperienze sono prevalentemente orientate all'apprendimento delle STEM e della geometria 3D e quindi al passaggio da modelli 2D ad oggetti 3D e al collegamento tra rappresentazioni virtuali e fisiche.

⁷⁸ <https://www.silhouetteamerica.com/featured-product/curio>

⁷⁹ <https://cricut.com/en-us/>

⁸⁰ <https://www.rolanddg.eu/it/prodotti/plotter-da-taglio/stika-plotter-da-taglio-desktop>

⁸¹ <https://sewingcraft.brother.eu/it-it/prodotti/macchine/scanncut>

Tuttavia, rispetto alla stampa 3D, la ricerca risulta ancora carente, soprattutto per la fascia k-12.

5. *Virtual and Augmented Reality*

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.

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. 9). 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*).

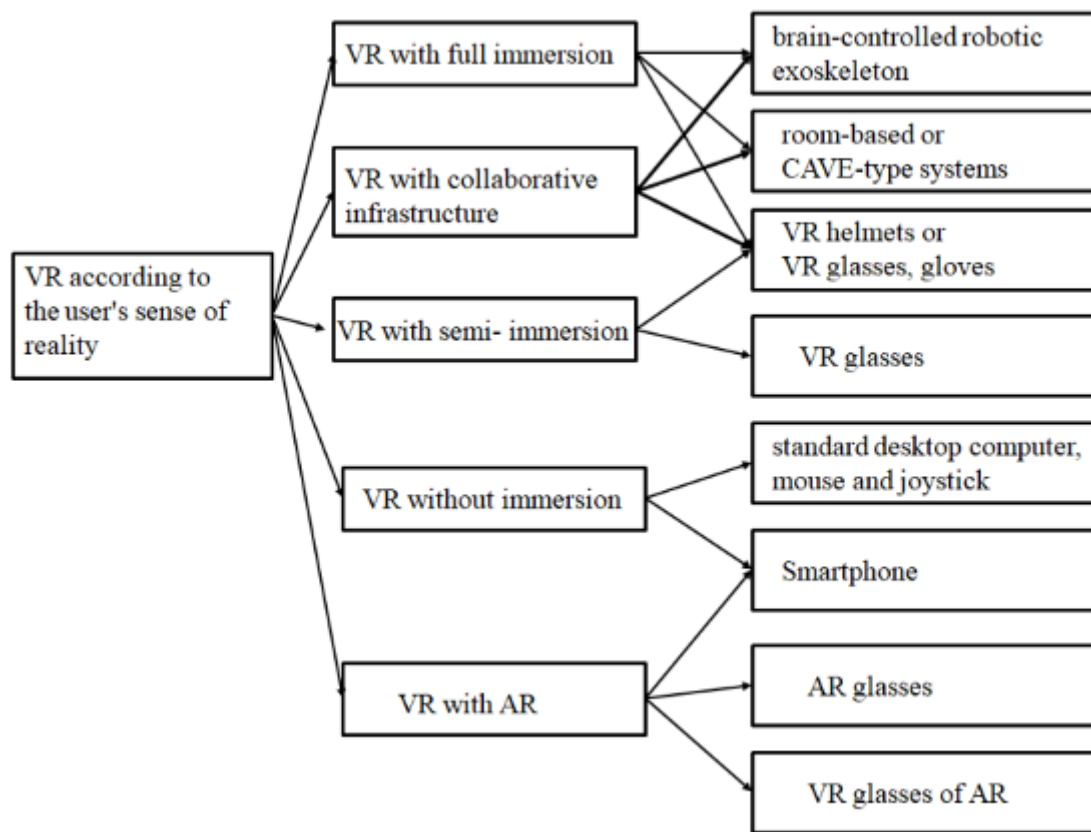


Fig. 9 – Classificazione dei tipi di VR in base al senso di realtà dell'utente e al tipo di accessori VR.

Fonte: Soroko et al., 2021, p. 90.

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 ventunesimo 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 cinematografo 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 ventesimo e ventunesimo 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.

L'utilizzo delle tecnologie immersive nel settore educativo ha infatti dimostrato di fornire opportunità per promuovere l'apprendimento di varie discipline, da quelle scientifiche (Kerawalla *et al.*, 2006; Tsivitanidou, 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; Parmaxi, 2020; Chin & Wang, 2021).

Le tecnologie di VR e AR supporterebbero inoltre la motivazione (Gopalan, Zulkifli, & Aida, 2016; Chen *et al.*, 2017; Mahadzir & Phung, 2013; Di Serio, Ibáñez, & Delgado Kloos, 2013) e principi di apprendimento costruttivo (Winn, 1993; 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 rivelerebbe infatti molto efficace per l'apprendimento delle scienze (Chen, Huang, & Chou, 2017) e quindi per favorire la già

citata educazione STEM (Truchly *et al.*, 2018; 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 (Fuchs, Moreau, & Guitton, 2011) e ricevono feedback da tali interazioni. Grazie all'immersione mentale e fisica, tali ambienti consentono di imparare facendo pratica e 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 (es. diminuzione del nervosismo soggettivo e riduzione della percezione negativa della valutazione) e attenuando la risposta fisiologica alla paura (es. 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 qualitativo 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, ad 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 su 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). È pensata per potenziare l'esperienza e il coinvolgimento del soggetto rispetto, ad esempio, ad un corso o un obiettivo (Surendelegh *et al.*, 2014). 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*⁸² 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:

⁸² <https://vr.google.com/tourcreator/>

- 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);
- 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 preferito (creazione di percorsi di apprendimento individuali);
- 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 (come vista, udito e tatto) 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 infatti 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 ad 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. Il Progetto

1. Scopo e domande di ricerca

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 STEAM e del 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. 10):

- le alfabetizzazioni di base (*foundational literacies*) si riferiscono al modo in cui gli studenti applicano le competenze 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 competenze. Tuttavia, mentre in passato era sufficiente comprendere testi scritti e relazioni quantitative per accedere al mondo del lavoro, oggi queste competenze 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.

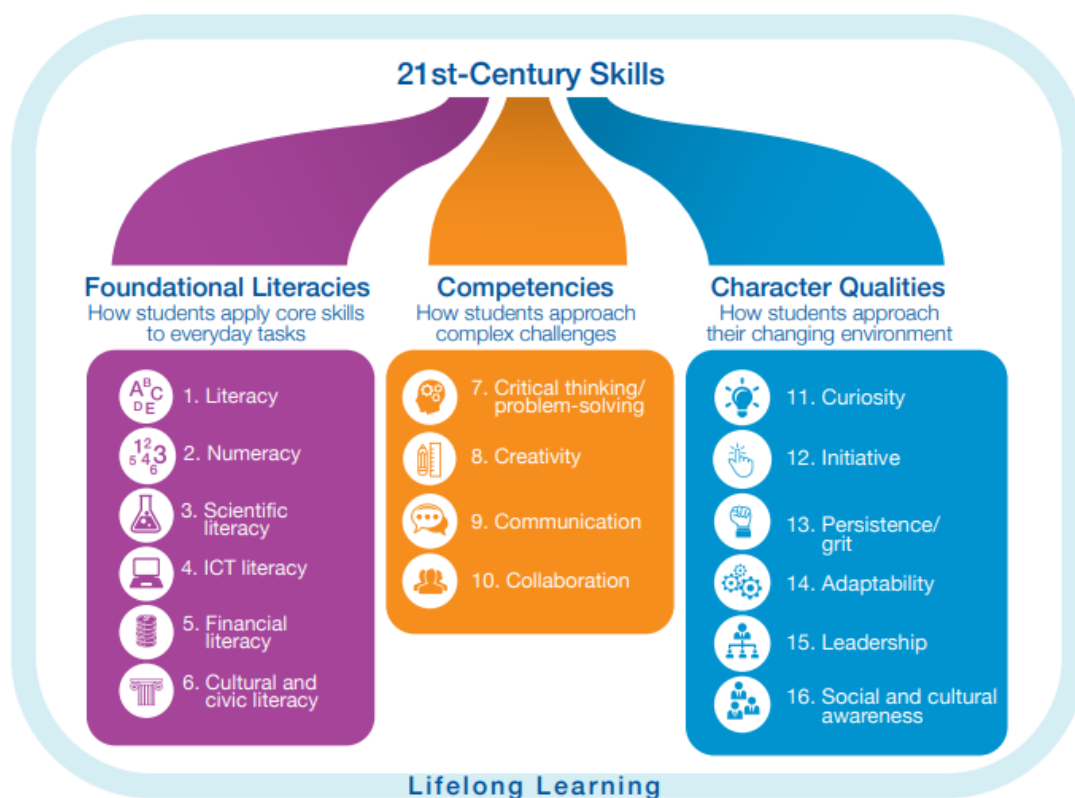


Fig. 10 – Le 16 skills richieste agli studenti per il XXI secolo.

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 chiamati a realizzare processi di innovazione basati su attività multimodali, flessibili e aperte e su metodologie attive. In tal modo, essi potranno ricercare, produrre e rielaborare la conoscenza e stimolare processi di comunicazione, condivisione e scambio (Giannandrea, 2021).

Come emerso nei precedenti capitoli, l'approccio Maker e le recenti tecnologie impattano sulle finalità della scuola e sulle esigenze dei contesti socio-culturali odierni, rispondendo all'attuale richiesta di un nuovo modo di insegnare e apprendere *future-focused, project-based e student-centered*. Inoltre, abbiamo visto come uno dei punti di forza maggiormente riconosciuti all'approccio sia la capacità di coinvolgere i giovani in un apprendimento STEM più profondo e di rendere la conoscenza scientifica più accessibile.

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, in press).

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?

Dal gennaio del 2021 all'aprile del 2022 si è infatti svolto, nell'ambito del dottorato di ricerca, un progetto volto a delineare una proposta di integrazione delle attività making nella didattica curricolare di scuola primaria e secondaria di primo grado e a rilevarne l'impatto sulle variabili sopra citate. Tale progetto mirava a integrare la *Maker Education* nei curricula scolastici delle classi coinvolte, attraverso sfide autentiche legate ai contenuti curricolari, volte a promuovere le competenze degli studenti e incluse nel processo di valutazione. Il piano sperimentale è stato progettato e in gran parte sviluppato durante il periodo di emergenza sanitaria Covid-19 e ciò ha influito notevolmente sulle modalità di pianificazione e conduzione dello stesso.

A seguito di una fase di progettazione e allineamento, il progetto risulta suddiviso 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.

Il par. 2. descrive contesto e partecipanti di ciascuna parte, il par. 3. illustra la metodologia, mentre il par. 4., dopo una panoramica sul nuovo paradigma valutativo dell'*assessment as learning* e una specifica riflessione sul valutare nei contesi maker, delinea gli strumenti valutativi utilizzati per la raccolta dei dati. La descrizione delle attività e la presentazione e discussione dei risultati sono enunciati nei capitoli successivi.

2. Contesto e partecipanti

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), ubicato appunto nelle Marche. Il campione oggetto di studio non è stato selezionato tramite specifiche procedure di campionamento. 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 coinvolti nell'ambito delle STEM, avessero una buona familiarità con le tecnologie ed 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.

Si segnala infine che il contesto e il campione sono stati necessariamente limitati a causa dell'emergenza sanitaria Covid-19 in atto. Le attività si sono svolte prevalentemente nelle classi 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 ad ogni coppia sono stati assegnati ruoli chiari, intercambiabili di volta in volta (ad esempio, il progettista e il costruttore).

I seguenti sottoparagrafi descrivono nel dettaglio la popolazione della Parte I (par. 2.1.) e della Parte II (par. 2.2.) del progetto.

2.1. Parte I

La prima parte del progetto ha coinvolto 50 studenti e 3 insegnanti di scuola primaria dell'Istituto Comprensivo "S. De Magistris" di Caldarola (MC). 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. 1). Gli studenti risultavano ben distribuiti in termini di genere (F: 54%; M: 46%) e di classe frequentata (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 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. 1 – Sintesi delle informazioni personali degli studenti (pre-Parte I).

	Index	Valore (%)
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:

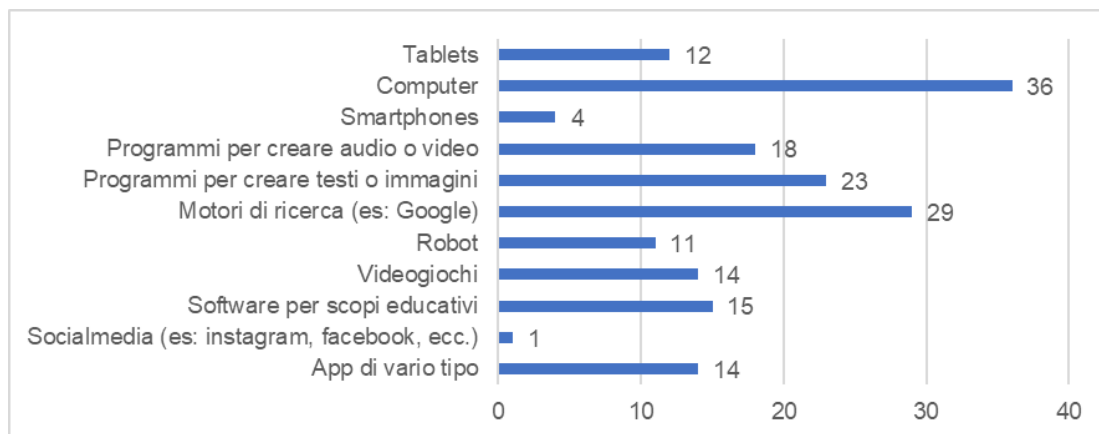
- insegnante 1 (I1) - classe quarta: matematica, scienze, inglese, musica, educazione fisica;
- insegnante 2 (I2) - classe quinta: matematica, scienze, inglese, educazione fisica;
- insegnante 3 (I3) - pluriclasse quarta-quinta: matematica, scienze, musica, tecnologia.

Proprio per la loro esperienza in tale ambito disciplinare, i docenti risultavano attivamente coinvolti anche nel progetto STEAM-H, citato nel capitolo 1, par. 4., di cui l'I.C. "S. De Magistris" era uno dei membri partner italiani, e ciò ha favorito un approfondimento teorico e pratico sul tema dell'educazione STEAM e proficue occasioni di scambio internazionale, tra cui il *transnational meeting e course* al *FabLab München e.V.* e alla *Grundschule an der Lehrer-Wirth-Straße* di Monaco.

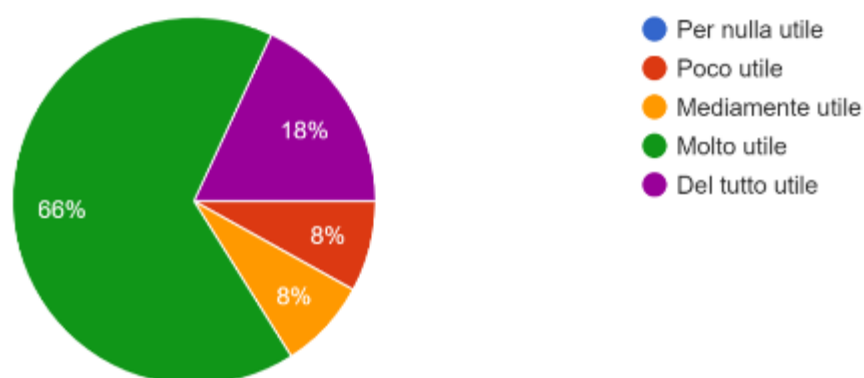
Tramite il questionario iniziale abbiamo voluto indagare anche aspetti legati alla conoscenza e all'utilizzo degli strumenti tecnologici, al fine di verificare il punto di partenza degli studenti e calibrare efficacemente le fasi successive. Il 98% degli studenti ha dichiarato di conoscere i mattoncini 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 i 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, come computer (72%), motori di ricerca come *Google* (58%) e 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" (vedi Graf. 2). 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).



Graf. 2 – Utilità di inventare e/o costruire qualcosa per comprendere meglio le materie scolastiche (pre-Parte I).

2.2. Parte II

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 Camprotondo 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 Calderola (16 alunni-tempo pieno) e l'ex pluriclasse quarta-quinta di Camprotondo (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 inseriti 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.

Anche la composizione del gruppo docente coinvolto ha subito variazioni. Ai due docenti rimanenti I1 e I3, 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.

Anche per la seconda parte abbiamo previsto un questionario di ingresso, da cui possiamo trarre i dati personali degli studenti aggiornati (vedi Tab. 2) e la nuova versione dei grafici mostrati per la Parte I (vedi Graf. 3 e 4). 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%).

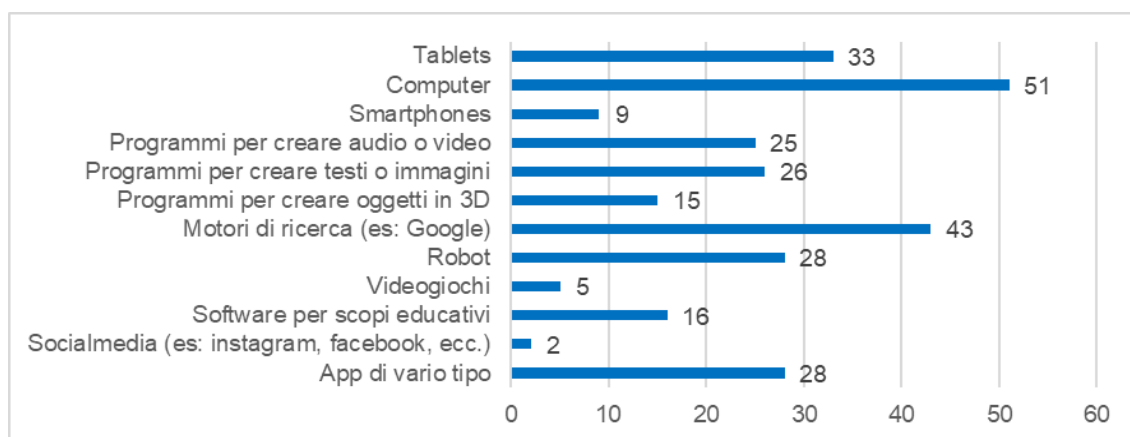
Tab. 2 – Sintesi delle informazioni personali degli studenti (pre-Parte II).

	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

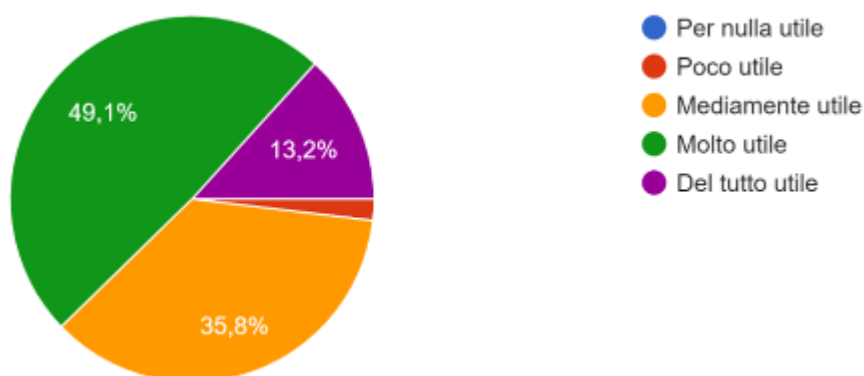
Il Graf. 3 consente di rilevare un primo impatto sull'utilizzo delle tecnologie a scuola. Emerge infatti un generale incremento di quasi tutti i campi indagati, ma si evidenzia, in particolare, il promettente aumento dell'uso di tablets, smartphones, robot, software per scopi educativi e app di vario tipo.

Infine, il Graf. 4 mostra una conferma dell'utilità conferita 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”, si riduce molto quella del “poco utile” e resta assente quella del “per nulla utile”.



Graf. 3 – Tecnologie utilizzate a scuola (pre-Parte II).



Graf. 4 – Utilità di inventare e/o costruire qualcosa per comprendere meglio le materie scolastiche (pre-Parte II).

3. Metodologia

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*. Più *stakeholders* contribuiscono a identificare i problemi pratici candidati a diventare il fulcro della ricerca e dello sviluppo. A seconda del progetto, i partecipanti possono essere ricercatori, leader organizzativi, professionisti, genitori, membri della comunità e giovani;
2. un impegno per una progettazione iterativa e collaborativa. La ricerca sulla progettazione collaborativa si concentra spesso sullo sviluppo e sulla sperimentazione di strumenti utilizzabili per migliorare l'insegnamento e l'apprendimento in ambiti e contesti disciplinari specifici (Cobb *et al.*, 2003). Come per altre forme di ricerca *design-based*, la progettazione inizia con lo stabilire l'obiettivo. Altre decisioni rilevanti sono poi la composizione del team di progettazione, il processo di iterazione e le evidenze e le motivazioni a sostegno delle modifiche apportate ai progetti (Penuel *et al.*, 2011; Penuel, Tatar, & Roschelle, 2004). L'oggetto di interesse costituisce però una chiara distinzione tra la DBIR e la maggior parte della ricerca *design-based*. La DBIR si concentra non solo sulla progettazione di strumenti e pratiche per i discenti, ma anche sulla progettazione dei mezzi di sostegno utili all'implementazione di tali strumenti. Inoltre, i cicli iterativi di progettazione determinano un coordinamento tra gli strumenti per l'apprendimento e quelli per l'implementazione, che vengono reciprocamente perfezionati riflettendo quanto maturato attraverso la ricerca (Fishman *et al.*, 2003; Penuel & Fishman, 2012);
3. un interesse per lo sviluppo della teoria e della conoscenza relativa sia all'apprendimento in classe che all'implementazione attraverso un'indagine sistematica. La DBIR mira a sviluppare la teoria per guidare i team di progettazione e la futura ricerca sull'apprendimento. I tipi di teorie rilevanti per la DBIR riguardano specificamente gli oggetti della progettazione e comprendono teorie di apprendimento all'interno e tra i domini disciplinari, apprendimento informale o quotidiano, apprendimento degli insegnanti, cambiamento organizzativo e

leadership. A differenza della ricerca *design-based*, incentrata solo sulle teorie relative all'apprendimento degli studenti nei domini, la DBIR può anche contribuire alle teorie delle organizzazioni e delle istituzioni che guidano gran parte della ricerca politica contemporanea nel campo dell'istruzione, sottolineando come la diffusione di nuovi strumenti (ad esempio curricula e tecnologie) possa portare alla luce nuovi bisogni di coordinamento tra i diversi livelli del sistema e di sviluppo delle capacità (si veda ad esempio Stein & Coburn, 2008);

4. un interesse per lo sviluppo della capacità di sostenere il cambiamento nei sistemi. La DBIR si focalizza non solo sullo sviluppo delle competenze dei singoli attori, ma anche sullo sviluppo della capacità dell'intero sistema di implementare, scalare e sostenere le innovazioni. Inoltre, ricercatori, organizzazioni di ricerca e università sono considerati parte dell'ecologia dei supporti che devono essere rafforzati per migliorare eccellenza ed equità.

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). Gli autori non presentano la DBIR come una forma di ricerca o un modello completamente nuovi e senza precedenti, ma piuttosto come un modello che emerge dalle intuizioni della ricerca passata e dai tentativi, riusciti e non, di portare su scala le innovazioni educative. Nello specifico, tra gli antecedenti della DBIR gli autori menzionano: l'*evaluation research*, la *community-based participatory research*, la *design-based research*, l'*implementation research* e i *social design experiments*. Essi citano poi l'analisi storica condotta da Tyack e Cuban (1995) su un secolo di riforma dell'istruzione per evidenziare la profonda influenza del modello industriale di gestione scientifica di Taylor sulla pratica didattica, sfociata in una netta divisione tra coloro che progettano le innovazioni e coloro che le implementano. 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 ad un processo di pianificazione iterativa e collaborativa, partendo dagli specifici programmi curricolari e percorsi progettuali delle singole classi per definire possibili proposte di integrazione. A tal fine, abbiamo individuato tre criteri guida:

- connettere le attività proposte ai contenuti curricolari;
- lavorare per e sulle competenze degli studenti;
- valutare i processi attivati per includerli nella valutazione degli studenti.

In linea con l'approccio Maker, abbiamo successivamente progettato sfide basate sull'ideazione, la pianificazione, la costruzione e la 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 ad ogni sessione la stessa struttura: anticipazione (Ausubel, 1968), *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.

4. Valutazione

4.1. *Assessment as learning*

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; Reddy, *et al.*, 2015; Dixson & Worrell, 2016). Questo tipo di valutazione, gestita principalmente, se non esclusivamente, dal valutatore, lascia poco spazio a feedback e indicazioni per il miglioramento (Earl, 2013)

ed è vista dagli studenti con diffidenza e timore (Kvale, 2007). Nonostante le critiche, molti ricercatori concordano sul fatto che la valutazione dell'apprendimento sia ancora la forma di valutazione più diffusa (Carless, 2015b; 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 (Dixson & Worrell, 2016; Pat-El *et al.*, 2015). 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 (Sambell, McDowell, & Montgomery, 2013) 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 (Slavin, 2012).

Nel corso degli ultimi anni abbiamo assistito ad una 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 adeguati

all'approccio; (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; Jonassen, 2017), 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 (Glatthorn, 1999; Pellerey, 2004). Nel *Project Based*

Learning (Schmidt, Rotgans, & Yew, 2011; Hung, 2019; Kolmos *et al.*, 2008) l'attività viene valutata per verificare se:

- gli studenti applicano correttamente le conoscenze pregresse per risolvere il problema;
- gli studenti sono in grado di applicare «abilità concettuali e analitiche di alto livello» (Fishman & Dede, 2016, p. 1274), cioè di gestire i processi, fare scelte e giustificare le loro scelte;
- gli studenti sono consapevoli dei processi attivati.

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 “semplesse” (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. 3): (1) la situazione sfidante e generativa, (2) la consegna strutturata e (3) lo *scaffolding* (Rossi *et al.*, 2021).

Tab. 3 – 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: <ul style="list-style-type: none"> - 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 deve 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 ventunesimo 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, in press). 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 regionale⁸³, abbiamo rilevato elementi critici comuni rispetto alla valutazione,

⁸³ 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.

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*”⁸⁴. 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, accreditare e misurare il successo degli studenti, della scuola e del sistema. Gli obiettivi primari della *partnership* sono infatti: lavorare con dirigenti scolastici progressisti che si sono allontanati dalla tradizionale “grammatica della scuola”, generare strumenti nuovi e convalidati per valutare competenze complesse, generare report e profili degli studenti che riconoscano una gamma più ampia di ciò che lo studente sa e può fare, influenzare lo sviluppo di nuove politiche, raccogliere il sostegno necessario per facilitare un reale cambiamento nelle scuole e connettersi con reti nazionali e internazionali di leader che condividono gli stessi obiettivi. La *New Metrics* ha dunque sviluppato dei kits di risorse⁸⁵ 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. Il primo kit⁸⁶, in particolare, illustra nel dettaglio le otto competenze fondamentali individuate dal team (vedi Fig. 11), chiarendo per ognuna

⁸⁴ <https://education.unimelb.edu.au/new-metrics-for-success>

⁸⁵ <https://education.unimelb.edu.au/new-metrics-for-success#resources>

⁸⁶ The University of Melbourne's Assessment Research Centre. Assessing complex competencies: https://education.unimelb.edu.au/data/assets/pdf_file/0004/4209133/17928-NM_Assessing-Competencies-resource-kits_taster.pdf

“elementi” costitutivi ed esempi di progressioni di apprendimento e di comportamenti indicativi.



Fig. 11 – Competenze complesse.

Fonte: The University of Melbourne’s Assessment Research Centre. Assessing complex competencies, 2022, p. 4.

Negli ultimi dieci anni, l’*Assessment Research Centre* ha inoltre sviluppato diverse piattaforme di valutazione per supportare gli insegnanti nel processo valutativo. Sulla

base dei risultati emersi nel decennio di ricerche e in risposta alle reali preoccupazioni degli insegnanti, il Centro ha progettato l'ultima e promettente piattaforma *Ruby*⁸⁷. I suoi creatori la definiscono come una piattaforma digitale di valutazione sicura, intelligente, affidabile e di facile navigazione in grado di rivoluzionare la didattica basata sulle competenze. *Ruby* è a disposizione dei partner dell'*Assessment Research Centre* e riunisce una serie di strumenti, tecniche e risorse per supportare l'implementazione di una valutazione basata sulle competenze complesse e orientata all'evidenza e all'accreditamento. Il progetto *Ruby* si basa sui seguenti principi: progettare una valutazione basata sullo sviluppo (progressione), testata empiricamente rispetto a standard esterni; progettare la valutazione in base a standard comuni; effettuare la valutazione in contesti in cui il soggetto è impegnato (all'interno e all'esterno di contesti educativi, a seconda dei casi); utilizzare performance ricche e autentiche per evidenziare le capacità; incoraggiare il soggetto a sviluppare un portfolio del proprio lavoro per esemplificare l'ampiezza e la profondità dei risultati raggiunti; includere le comunità locali e le parti interessate nella progettazione della valutazione; utilizzare il giudizio umano piuttosto che affidarsi solo ad approcci "oggettivi"; utilizzare più formati di reportistica; utilizzare la tecnologia per supportare la gestione della valutazione e del feedback, nonché la moderazione e il controllo di qualità; aggregare i risultati di più valutazioni e di più valutatori. *Ruby* non richiede un'elevata competenza informatica da parte degli insegnanti e supporta diverse modalità di valutazione, tra cui: test standardizzati, quiz e test dell'insegnante, giudizio dell'insegnante, valutazione tra pari, autovalutazione e valutazione automatizzata basata sull'analisi. La piattaforma può essere inoltre utilizzata per costruire moduli, piani di lezione e unità di lavoro per qualsiasi obiettivo curricolare basato sulle competenze, effettuare valutazioni formative e sommative dell'apprendimento (prima, durante e al termine del programma didattico), profilare e analizzare il livello di apprendimento e il tasso di crescita di ogni studente, fornire micro-credenziali dei suoi progressi e motivare gli studenti con la generazione automatica di *badge* digitali man mano che le competenze vengono acquisite, incentivando e valorizzando i risultati ottenuti. In tal modo, essa supporta il miglioramento della qualità e della raccolta dei giudizi degli insegnanti e fornisce un feedback intelligente agli studenti, stimolando la loro *agency*.

⁸⁷ <https://education.unimelb.edu.au/research/projects/modern-technology-and-assessment-and-certification-introducing-ruby>

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)⁸⁸, 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 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) (vedi Fig. 12). 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

⁸⁸ <https://www.bigpicture.org.au/>

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.

International Big Picture Learning Credential
A passport to the world

Abbie Layshon

Abbie is a determined, self-motivated young person who is passionate about learning. As a student, she has a proven ability when working towards her career goals. Abbie has a complete understanding of the requirements for a Bachelor of Science (Honours) and a Bachelor of Education (Honours) and is confident in her ability to succeed in either field. She is a confident and effective communicator and is able to work well in a team. Abbie has a strong understanding of the human body and its systems. Abbie has a strong understanding of the human body and its systems. Abbie has a strong understanding of the human body and its systems.

Real World Experiences

- Internship at Hunter Sports High School
- Internship at Hunter Sports High School
- Internship at Hunter Sports High School
- Internship at Hunter Sports High School
- Internship at Hunter Sports High School
- Internship at Hunter Sports High School

Inside Abbie's Online Portfolio

These images show excerpts from the Learner Profile of Abbie, a graduate from Hunter Sports High School in 2020.

Fig. 12 – The International Big Picture Learning Credential Learner Profile.

Fonte: Milligan et al., 2021, p. 47.

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 (Shute *et al.*, 2009; 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, in press).

4.2. Valutare nei contesti maker

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 Peppler, 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*"⁸⁹, condotto tra il 2017 e il 2019 dal *Teaching Systems Lab*⁹⁰ del MIT in collaborazione con la *Maker Ed*⁹¹, 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

⁸⁹ <https://makered.org/beyondrubrics/overview/>

⁹⁰ <https://tsl.mit.edu/>

⁹¹ <https://makered.org/>

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 costrutto 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 modo in cui si intende il costrutto 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*⁹² 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 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:

⁹² Una descrizione dettagliata degli strumenti è disponibile sul sito: <https://makered.org/beyondrubrics/toolkit/#tools>

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 ed 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 (Song *et al.*, 2016; Van Zundert, Sluijsmans, & Van Merriënboer, 2010). Allo stesso modo, Tai e colleghi (2018) discutono l'importanza del giudizio valutativo e quindi della capacità degli studenti di prendere decisioni sul proprio lavoro.

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 (Martinez & Stager, 2013);
2. concentrarsi sul processo piuttosto che sul prodotto: occorre focalizzarsi sul processo che permette agli studenti di arrivare al prodotto finale. Il riconoscimento dei risultati ottenuti nel lavoro sommativo o finale non porta necessariamente ad un aumento delle prestazioni quando si affrontano nuove sfide (Dweck, 1999);
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).

I ricercatori 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 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, attraverso strumenti come quaderni, blog, foto, poster, video e storie digitali, fornisce una finestra sul processo creativo utilizzato per sviluppare il prodotto finale (Hlubinka *et al.*, 2013). 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). Chang sottolinea anche l'importanza di utilizzare pratiche digitali e non digitali per documentare il lavoro;
 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 (vedi Tab. 4): (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*). Come si evince dalla Tab. 4, 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.

Tab. 4 - Risultati di apprendimento misurati nelle attività maker.

Learning Outcomes	Sub-categories	Numbers	Percent
Cognition	STEM-related content knowledge	28	47%
	Programming knowledge	20	33%
	Skills and Competence	15	25%
Affect	Confidence	10	17%
	Attitude	7	12%
	Feeling and Perceptions	19	32%
Other	Engagement	16	27%
	Collaboration	11	18%

Fonte: Lin *et al.*, 2020, p. 6.

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

Per quanto concerne gli strumenti di valutazione frequentemente utilizzati nelle attività maker, essi vengono classificati in: valutazione degli artefatti, test, indagini, interviste e osservazione (vedi Fig. 13).

- 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. La rubrica si rivela uno strumento prezioso poiché è in grado di chiarire criteri di ricerca e progettazione, criteri relativi alla produzione, alla funzionalità e all'estetica dell'artefatto finale, utili a valutare le prestazioni del creatore in modo completo. In aggiunta, essa può configurarsi come uno strumento di valutazione formativa nel processo di progettazione e costruzione dello studente, guidandolo nella realizzazione del suo artefatto. 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 in un ambiente maker 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. I sondaggi sono stati comunemente utilizzati per misurare il livello di fiducia nel making;
- 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 per valutare il processo di apprendimento nel making perché 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 (trascrizione, codifica e analisi della registrazione video e/o audio). 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.

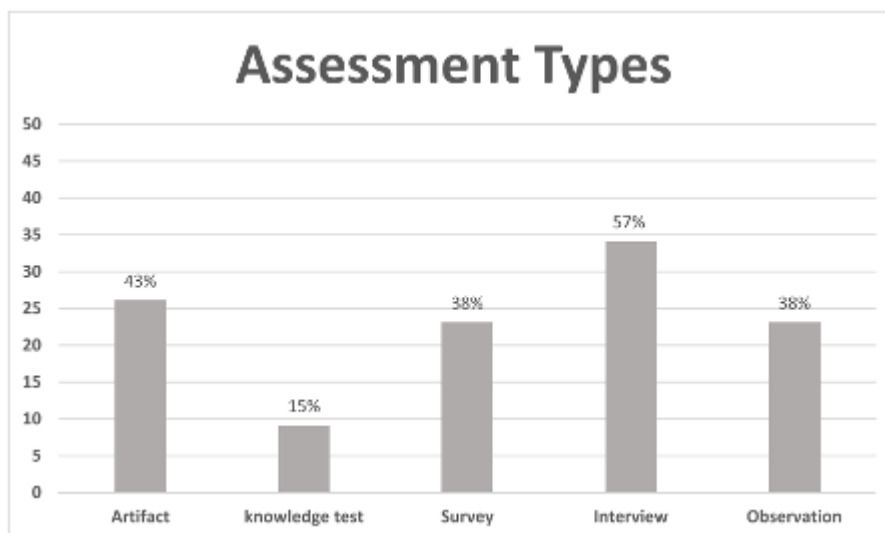


Fig. 13 – Tipi di valutazione.

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, per misurare i diversi risultati di apprendimento si dovrebbero utilizzare valutazioni di varia natura. Lo studio dimostra che sia gli strumenti di valutazione tradizionali che quelli innovativi possono essere adattati alle attività maker per valutare e migliorare l'apprendimento. Tale valutazione può essere utilizzata per 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.

4.3. Gli strumenti valutativi

Coerentemente con quanto esposto nel precedente paragrafo, 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. Il

sottoparagrafo 4.3.1 delinea gli strumenti utilizzati per l'analisi quantitativa, mentre il 4.3.2 gli strumenti di natura qualitativa a supporto dell'indagine.

4.3.1. Valutazione quantitativa

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

1. l'*attitude* degli studenti verso le discipline STEM e le abilità del XXI secolo (Q1) (vedi Appendice A): 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) (vedi Appendice B): 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 nell'ambito del progetto "MISO" 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. 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). 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. In aggiunta, la *survey* presenta un'ulteriore sezione specifica volta ad indagare l'interesse degli studenti per le carriere STEM, che si è scelto di escludere visto il numero già considerevole di quesiti derivanti dalle aree di indagine citate. L'*attitude* dello studente verso una materia 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). Gli autori fanno dunque riferimento alla teoria dell'autoefficacia e a quella dell'aspettativa-valore, considerate complementari, per

indagare i modelli di aspirazioni di carriera e di persistenza nei percorsi avviati. Le teorie dell'aspettativa-valore sostengono che gli individui valutano regolarmente la probabilità di raggiungere obiettivi specifici e il valore guadagnato o perso da tale raggiungimento (Eccles & Wigfield, 2002; Wigfield & Eccles, 2000). Nella S-STEM survey, dunque, il termine *attitude* sta ad indicare un insieme di autoefficacia e di convinzioni su aspettativa-valore. Per sviluppare gli item relativi all'*attitude* verso le STEM, gli autori hanno esplorato le proprietà psicometriche della *STEM attitudes survey* di Erkut e Marx (2005) e hanno poi perfezionato gli item e i costrutti sulla base della teoria e dei risultati empirici. 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 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".

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.

4.3.2. Valutazione qualitativa

Per tutto lo svolgimento del progetto abbiamo 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 infatti strutturato in tre sezioni (vedi Appendice C):

1. introduzione (numero e titolo del goal, 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 (vedi Appendice D). Le sei dimensioni della rubrica individuate riflettono dunque le aree di autovalutazione degli studenti e sono: (1) comprendere e gestire le fasi di lavoro (comprende la consegna; organizza il lavoro); (2) individuare e selezionare informazioni e materiali (ricerca informazioni pertinenti; analizza e sceglie le informazioni; analizza e sceglie i materiali da usare; opera scelte consapevoli e attinenti al compito); (3) conoscere e utilizzare le principali procedure informatiche e multimediali (conosce i principali motori di ricerca

Internet e le modalità di accesso; conosce i più noti programmi di video-scrittura); (4) conoscere e utilizzare il lessico specifico (utilizza un linguaggio adatto; organizza le informazioni in testi coerenti e schemi); (5) parlare in pubblico (padroneggia le tecniche di comunicazione; controlla l'emozione; risolve l'imprevisto); (6) *learning together* (rispetta compiti, ruoli e tempi; sostiene e ascolta gli altri; collabora). 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, i suoi principali limiti ed effetti positivi (soprattutto rispetto al miglioramento della visione STEM e della valutazione delle competenze), i cambiamenti nel loro approccio e nell'insegnamento quotidiano e infine i possibili miglioramenti della proposta. Il focus group è stato condotto secondo le linee guida delineate in Krueger e Casey (2015) e Krueger (2002). Krueger e Casey (2015) individuano essenzialmente cinque categorie di domande, ognuna con una funzione distintiva nel flusso di un focus group:

- domande di apertura (*opening questions*): mirano a far parlare tutti all'inizio della discussione e sono pensate per avere risposte semplici e rapide (in circa 30 secondi). La domanda di apertura non è una domanda di discussione; perciò, non verte su atteggiamenti ed opinioni e generalmente non viene analizzata. L'intento non è ottenere informazioni, ma piuttosto far parlare i partecipanti e aiutarli a sentirsi a proprio agio (ad esempio: il moderatore chiede ai partecipanti di introdurre se stessi focalizzandosi sul proprio ruolo professionale);
- domande introduttive (*introductory questions*): mirano ad introdurre l'argomento di discussione e a far sì che i partecipanti inizino a pensare al loro legame con l'argomento. Le domande introduttive iniziano a fornire al moderatore indizi sulle opinioni dei partecipanti (ad esempio: il moderatore introduce l'oggetto della discussione e chiede ai partecipanti di commentare liberamente);
- domande di transizione (*transitions questions*): mentre le domande introduttive fanno emergere l'argomento, le domande di transizione avvicinano la conversazione alle

domande chiave. Fungono dunque da collegamento logico tra le domande introduttive e le domande chiave;

- domande chiave (*key questions*): sono le domande che guidano lo studio. Di solito vanno da quattro a sei e sono le prime ad essere sviluppate dal team di ricerca, nonché quelle che richiedono la massima attenzione in fase di analisi. È importante che il moderatore riservi un tempo sufficiente per la discussione completa di queste domande. Infatti, mentre ad ognuna delle domande precedenti possono essere dedicati pochi minuti, per le domande chiave possono essere necessari da 10 a 20 minuti ciascuna (ad esempio: il moderatore pone una serie di domande che affrontano nel dettaglio i differenti topics oggetto del focus group);
- domande conclusive (*ending questions*): hanno lo scopo di chiudere la discussione, permettono ai partecipanti di riflettere sui commenti precedenti e risultano fondamentali per l'analisi. Vi sono tre tipi di domande conclusive: la domanda "tutto considerato", la domanda di riepilogo e la domanda finale. La domanda "tutto considerato" serve a determinare la posizione finale dei partecipanti sulle aree critiche di interesse. Tale domanda è utile per l'analisi, poiché serve a interpretare i commenti contrastanti e ad assegnare un peso a ciò che è stato detto. La domanda di riepilogo viene posta dopo che il moderatore o l'assistente ha presentato una breve sintesi (circa due minuti) della discussione. Dopo il riassunto, i partecipanti vengono quindi interrogati sull'adeguatezza del riassunto. Infine, la domanda finale ha scopo di accertamento e mira a garantire che gli aspetti critici non siano stati trascurati. Anche alle domande conclusive è necessario dedicare un tempo adeguato a renderle funzionali.

In merito alle domande, Krueger (2002) suggerisce inoltre di:

- evitare domande dicotomiche;
- evitare il generico "perché?", per andare a fondo su attributi (caratteristiche dell'argomento) e/o influenze (cose che spingono o causano un'azione);
- usare domande "ripensamenti" per riportare i partecipanti ad un'esperienza e non al futuro;
- usare le cinque diverse tipologie di domande;

- usare domande che coinvolgano i partecipanti (riflessioni, esempi, scelte, scale di valutazione, disegni, ecc.);
- focalizzare le domande (sequenza che va dal generale allo specifico);
- essere cauti con le domande serendipiche e con espressioni come “quanto soddisfatto” o “in che misura”.

Sulla base di tali indicazioni è stata formulata la seguente scaletta per la conduzione del focus group, dettagliata nell'Appendice E: (1) accoglienza, (2) panoramica dell'argomento, (3) regole di base e (4) domande: di apertura [1], introduttiva [2], di transizione [3, 4], chiave [5, 6, 7, 8, 9], conclusiva [10].

Le pratiche valutative sono risultate coerenti a quelle suggerite da Lundberg e Rasmussen (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 riconducibili alle tre categorie descritte da Lin e colleghi (2020): cognitivi, legati alla comprensione e alla costruzione della conoscenza dei contenuti; affettivi, legati a sentimenti e atteggiamenti; e “altri”, connessi principalmente ad impegno e collaborazione.

4. Narrazione del Progetto

Come menzionato nel capitolo precedente, il progetto di ricerca ha avuto luogo dal gennaio del 2021 all'aprile del 2022 e risulta suddivisibile 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. In linea con la metodologia DBIR, entrambe le parti sono state precedute da una fase preliminare di confronto con dirigente scolastico e docenti coinvolti per rilevare problematiche emergenti e allineare la proposta progettuale ai livelli e alle peculiarità dei contesti classe. A seguire, abbiamo previsto una fase iniziale di presentazione e familiarizzazione con gli strumenti da parte di docenti e studenti.

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:

- Goal 1: Sconfiggere la povertà
- Goal 2: Sconfiggere la fame
- Goal 3: Salute e benessere
- Goal 4: Istruzione di qualità
- Goal 5: Parità di genere
- Goal 6: Acqua pulita e servizi igienico-sanitari
- Goal 7: Energia pulita e accessibile
- Goal 8: Lavoro dignitoso e crescita economica
- Goal 9: Imprese, innovazione e infrastrutture
- Goal 10: Ridurre le disuguaglianze
- Goal 11: Città e comunità sostenibili
- Goal 12: Consumo e produzione responsabili
- Goal 13: Lotta contro il cambiamento climatico
- Goal 14: Vita sott'acqua
- Goal 15: Vita sulla Terra
- Goal 16: Pace, giustizia e istituzioni solide

- Goal 17: Partnership per gli obiettivi.

Tra questi, abbiamo individuato sei obiettivi da affrontare, data la loro maggiore rilevanza in relazione ai programmi scolastici, dedicando almeno un mese a ciascuno di essi. Di volta in volta abbiamo dunque proposto attività (da svolgere in coppie o piccoli gruppi) legate ad un singolo obiettivo che portassero gli alunni a progettare, inventare, realizzare, condividere e riflettere, sperimentando nuovi strumenti e modalità di apprendimento e richiamando al contempo vari contenuti disciplinari. Il percorso progettuale mirava, inoltre, a concedere un'autonomia sempre maggiore agli alunni, così da favorire l'emergere dei loro interessi e della loro creatività e lasciare spazio a tentativi, errori e rimodulazioni.

Entrambe le parti possono essere suddivise in tre moduli, ciascuno della durata di circa un mese e dedicato a un obiettivo specifico (vedi Tab. 5). Ogni modulo si è svolto in tre o quattro incontri di circa due ore ciascuno. Ogni incontro si è articolato seguendo delle fasi stabili e ricorrenti:

- anticipazione (Ausubel, 1968): lettura di approfondimenti e visione di video indicati dai docenti, ricerca o raccolta di fonti;
- *brainstorming* e presentazione della sfida;
- pianificazione (su diario di bordo);
- sperimentazione/verifica;
- restituzione e confronto tra i gruppi;
- *debriefing* e autovalutazione (su diario di bordo).

La ricorrenza di tali fasi aveva lo scopo di favorire ed incrementare l'autonomia e la competenza progettuale e autovalutativa degli alunni. Nello specifico, ogni obiettivo era introdotto da una fase anticipatoria secondo la modalità della "*flipped classroom*" (Bergmann & Sams, 2012), in cui si chiedeva agli studenti di visionare video e risorse assegnate e/o di effettuare ricerche sul territorio o tramite fonti cartacee e web per la raccolta di informazioni e documenti utili. Questa fase mirava ad attivare gli studenti e a richiamare o approfondire gli argomenti relativi all'obiettivo introdotti in precedenza. Quanto anticipato veniva poi ripreso in classe per avviare *brainstorming* e presentazione

della sfida e supportare la pianificazione dei gruppi. Altrettanto rilevanti sono da considerarsi le fasi di restituzione e confronto tra gruppi, previste al termine di ogni attività, per aprire spazi di discussione volti a far emergere punti di forza e di debolezza, chiarimenti, suggerimenti per il miglioramento, e così via. Il pensiero critico e riflessivo è stato infine ancor più stimolato nella fase conclusiva di autovalutazione guidata sul proprio diario di bordo.

Tab. 5 – Struttura del progetto.

	Tempi	Goal	Strumenti
Parte I	gennaio 2021 - giugno 2021	Goal 7: “Energia pulita e accessibile”	<ul style="list-style-type: none"> • Materiali di uso comune/riciclo; • kit di elettricità;
		Goal 11: “Città e comunità sostenibili”	<ul style="list-style-type: none"> • kit e app <i>LEGO WeDo 2.0</i>; • software <i>TinkerCAD</i>; • web app <i>Thinglink</i>;
		Goal 15: “Vita sulla Terra”	<ul style="list-style-type: none"> • stampante 3D <i>Ultimaker 3</i>; • sito web <i>QR Code Generator</i>; • app <i>Google Street View</i>.
Parte II	novembre 2021 - aprile 2022	Goal 3: “Salute e benessere”	<ul style="list-style-type: none"> • Materiali di uso comune/riciclo; • kit <i>LEGO WeDo 2.0</i> e relativa estensione su <i>Scratch 3.0</i> (primaria);
		Goal 13: “Lotta contro il cambiamento climatico”	<ul style="list-style-type: none"> • kit e app <i>LEGO SPIKE Prime</i> (secondaria); • kit <i>Makey Makey</i> e relativa estensione su <i>Scratch 3.0</i>;
		Goal 14: “Vita sott’acqua”	<ul style="list-style-type: none"> • visori <i>ClassVR</i>; • web app <i>Thinglink</i> (primaria); • piattaforma <i>CoSpaces</i> (secondaria); • piattaforma <i>Wooclap</i>.

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 ai 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 nel precedente capitolo, le sfide hanno previsto un forte riferimento al contesto di appartenenza e di vita degli

alunni, valorizzando dunque, anche e soprattutto, il loro vissuto in contesti informali e non formali.

L'avvio delle attività tra gennaio e febbraio 2021 è stato preceduto dall'essenziale fase 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).

1.1. Presentazione degli strumenti

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*⁹³ e relativa applicazione per computer e tablet⁹⁴; software *TinkerCAD*⁹⁵; applicazione web *Thinglink*⁹⁶; stampante 3D *Ultimaker 3*⁹⁷; sito web *QR Code Generator*⁹⁸; applicazione *Google Street View*⁹⁹. La natura e le caratteristiche di tali strumenti hanno permesso agli alunni non solo di lavorare su argomenti curriculari 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. Di seguito viene proposta una breve descrizione degli strumenti menzionati.

- Kit per esperimenti sull'elettricità. Il mercato online offre molte tipologie di kit e set per condurre esperimenti sull'elettricità in classe. I kit utilizzati per il progetto sono

⁹³ <https://education.lego.com/en-us/products/lego-education-wedo-2-0-core-set/45300#wedo-20>

⁹⁴ <https://education.lego.com/en-us/downloads/retiredproducts/wedo-2/software>

⁹⁵ <https://www.tinkercad.com/>

⁹⁶ <https://www.thinglink.com/it/>

⁹⁷ <https://ultimaker.com/it/3d-printers/ultimaker-3>

⁹⁸ <https://it.qr-code-generator.com/>

⁹⁹ <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.street&hl=it&gl=US>

stati acquistati su *Amazon* e comprendono: mini pannelli solari da 3V, mini motori elettrici DC 3V, eliche di plastica con 3 o 4 pale, diodi ad emissione luminosa (LED) colorati da 5mm.

- Kit e app *LEGO WeDo 2.0*. Il kit è stato sviluppato per l'insegnamento della RE, del coding e delle scienze nella scuola di base (primaria e secondaria di primo grado) ed è composto da 280 mattoncini e da 4 pezzi elettronici "speciali": un motore, un sensore di movimento, un sensore di inclinazione e una *smarthub*. Quest'ultima funge da connettore *wireless* tra il computer e gli altri pezzi, è programmabile e ricaricabile ed include la batteria, due porte di ingresso/uscita per connettere motore e sensori, un pulsante di accensione e un LED integrato. Il kit si presenta in un contenitore con un pratico vassoio con vasche ed etichette per la catalogazione dei diversi pezzi. È dotato di una tecnologia *Bluetooth 4.0* che consente ai modelli LEGO di muoversi liberamente, senza dover essere collegati via cavo al computer. Per utilizzare *WeDo 2.0* con Windows 7/8/10 è necessario acquistare un *Dongle USB Bluetooth*. La relativa applicazione, scaricabile gratuitamente, include un progetto d'avvio volto alla comprensione del funzionamento delle varie componenti e della programmazione ad icone attraverso cui è possibile "animare" i modelli motorizzati costruiti. Essa comprende anche una libreria di modelli e codici e due sezioni per documentare (con foto, video o *screenshots*) e condividere le proprie esperienze. L'applicazione è disponibile per tablet e computer (compatibilità con Android, iOS e Windows 7 e 8) e fornisce un ambiente di programmazione chiaro e semplice da utilizzare per dar vita ai propri progetti in pochi semplici passi. Nell'app troviamo inoltre tre tipologie di progetti già pronti all'uso: dei progetti iniziali di avvio per apprendere il funzionamento e le funzioni di base di *WeDo 2.0*; 12 progetti guidati con istruzioni passo dopo passo; 12 progetti aperti, ciascuno caratterizzato da una sfida iniziale che gli studenti devono risolvere mediante soluzioni personali e indipendenti. Cliccando su ogni progetto, si apre una scheda informativa in cui si riporta una breve descrizione della sfida, l'età/classe consigliata, il tempo necessario e il livello di difficoltà previsto. I progetti guidati sono poi suddivisi in tre fasi principali: esplora, crea e condividi. Infine, è disponibile anche un *Curriculum Pack* per l'insegnante con oltre 40 ore di attività pratiche, lezioni e strumenti di valutazione già pronti all'uso. Il kit e la relativa app supportano una programmazione

visuale a blocchi, ossia la costruzione di codici tramite blocchi di vari colori e forme che rappresentano comandi ed istruzioni da eseguire. Aprendo un nuovo progetto, l'utente visualizzerà: in alto a sinistra un menù contenente home, progetti, libreria, sezioni di documentazione e guida informativa; a destra una finestra per la connessione della *smarthub* e alcuni pulsanti per le funzioni di *zoom-in* e *zoom-out* dello schermo e per l'arresto del programma; ed infine, in basso, una barra contenente i vari blocchi di codice da trascinare con modalità *drag&drop* nell'area bianca al centro (dove troviamo di default il blocco *play* di avvio). La costruzione del codice è resa intuitiva da icone, colori, forme ed incastri che distinguono i vari blocchi. Troviamo, infatti, rappresentati in giallo i blocchi di flusso, in verde quelli di output legati al motore e al LED della *smarthub*, in rosso quelli di output legati al display, in arancione quelli di input legati ai sensori di movimento e inclinazione ed infine in azzurro alcuni blocchi di input testuali e numerici. Il kit risulta programmabile anche con *Scratch* (vedi par. 2.1. del presente capitolo).

- Software *TinkerCAD*. Oltre alle specifiche tecniche riportate nel capitolo 2, par. 4.2.1., è utile approfondire le funzionalità del software in relazione alla modellazione 3D, sfruttate per lo svolgimento del progetto. Come già accennato, *TinkerCAD* permette di generare forme personalizzate basandosi sul metodo della geometria solida costruttiva, divenendo quindi un ottimo mezzo per attività laboratoriali sulla geometria. Creando un nuovo progetto, infatti, l'alunno avrà a disposizione un piano di lavoro visualizzabile da tutte le angolazioni e prospettive (alto, basso, fronte, retro, destra, sinistra), su cui inserire o disegnare forme di vario tipo. Possiamo infatti importare modelli già creati o sceglierne uno tra quelli riportati nel menù a destra e divisi nelle seguenti categorie: forme di base, starter progetti, creature e personaggi, veicoli e macchine, strutture e scenari, hardware, componenti elettronici, divertimento e giochi, oggetti quotidiani, raccolte in evidenza, generatori di forme. La categoria "forme di base" è generalmente quella più consigliata ai fini didattici, poiché consente di lavorare sui solidi geometrici (vuoti o pieni), disegnare oggetti o scritte attraverso la funzione *scrubble*, 'scarabocchio', e scrivere testi con la funzione *text*. Gli alunni possono quindi trascinare gli oggetti desiderati mediante un semplice *drag&drop* sul piano di lavoro per poi personalizzarli, giocando sulle loro proprietà, raggrupparli ad altri solidi o separarli, approfondendo il concetto di intersezione, e

allinearli ad altri oggetti o specchiarli, ragionando su simmetrie e trasformazioni. È inoltre disponibile lo strumento “righello” per eseguire misurazioni sul piano di lavoro e lo strumento “note” per aggiungere annotazioni. Il progetto creato viene automaticamente salvato nella propria galleria e può essere esportato in vari formati per la stampa 3D o il taglio laser, scaricato in formato .PNG o direttamente condiviso per mail, su *Google Classroom* e altre piattaforme.

- Web app *Thinglink*. È una web app gratuita che consente di creare e/o esplorare uno spazio virtuale, in formato immagine o video, dentro il quale sono collocati link (chiamati *tag*) a risorse digitali di vario tipo. *Thinglink* è un editor di semplice utilizzo accessibile da computer e tablet tramite la creazione di un account e la connessione ad Internet. L'app consente di trasformare una qualunque immagine statica in una sorta di poster interattivo. Gli utenti possono infatti aggiungere dei “punti caldi” su parti specifiche dell’immagine, che rinviano a: testi (*add text label*), pdf e contenuti da siti internet (*add content from website*), immagini, video e audio (anche creati in tempo reale), con titoli, descrizioni e collegamenti a pagine web (*add text and media label*) e sondaggi (*create poll*). I *tag* e le finestre contenenti i media possono essere personalizzati scegliendo tra vari *layout*. Si possono inoltre creare dei *virtual tour* (*create tour*) per passare da uno “spazio” all’altro in maniera diretta o condizionata dalla risposta corretta ad un quesito. Oltre alle immagini, l’app consente di arricchire tele vuote (*black canvas*), immagini 360°, *virtual tour*, video classici o a 360°, gallerie e showroom, mappe e viste aeree, infografiche, piantine, *learning experiences*, presentazioni, demo di prodotti, CV, supporti per lo shopping, esperienze VR, *timelines* e modelli 3D. I prodotti di partenza possono essere caricati dal proprio dispositivo o selezionati tra quelli presenti in galleria. L’app presenta infatti una galleria di contenuti visualizzabili e/o ri-editabili. I prodotti creati possono essere pubblicati in qualsiasi sito o blog tramite il codice *embed*, condivisi mediante i principali social network o via mail, inseriti su power point e visualizzati in VR. Per sfruttare tutte le funzionalità dello strumento (tra cui la possibilità di registrare fino a 200 alunni) è disponibile anche una versione *upgrade* a pagamento. Non è attualmente disponibile la versione in lingua italiana.
- Stampante 3D *Ultimaker 3*. *Ultimaker 3* è la stampante 3D dell’omonima casa di produzione olandese sbarcata nel mercato del settore nel 2011 per offrire un prodotto

sempre più tecnologico, ma molto attento alle semplificazioni a favore degli utenti. Rappresenta un modello ideale sia per chi lavora professionalmente con le stampanti 3D sia per chi vuole avventurarsi per la prima volta nel mondo delle stampe tridimensionali. Infatti, grazie al doppio estrusore con sistema retrattile, al riconoscimento automatico dei materiali, al piano riscaldato auto livellato e alla connessione Wi-Fi, si presta ad essere usata anche da chi non ha esperienze nel settore, garantendo un'affidabilità di alto livello, ma anche un'estrema semplificazione d'uso. Il Wi-Fi integrato permette di inviare direttamente i progetti pronti per essere stampati 3D utilizzando il software *Cura*. L'innovativo sistema del doppio estrusore consente di combinare materiali diversi nel corso della stessa stampa 3D per realizzare più pezzi contemporaneamente o pezzi con doppio colore e strutture di supporto. Un sensore capacitivo rileva la distanza tra il piano di stampa e l'estrusore, per compensare dinamicamente gli errori durante la stampa. L'unione tra hardware, software e filamenti dà forma ad un sistema monitorato che rende l'esperienza di stampa 3D accessibile, semplice e professionale. Tra le specifiche riportate dal produttore troviamo: tecnologia FDM; testa di stampa con doppio estrusore; dimensioni del volume di stampa 215 x 215 x 200 mm (o 300mm); diversi materiali compatibili, tra cui Nylon, PLA, PVA, PETG e ABS; diametro dell'ugello di 0,4 mm; temperatura dell'ugello tra 180° e 280°; connettività prevista Wi-Fi, USB e LAN; livellamento del piano di stampa automatico; software *Cura*. La stampante si presenta pre-assemblata in una confezione contenente anche diversi accessori utili o indispensabili per il suo corretto ed efficace utilizzo.

- Sito web *QR Code Generator*. Il sito, erogato da *Bilty Europe*, consente di creare gratuitamente moltissimi tipi di *QR codes* personalizzabili. Il QR, o *Quick Response*, è un tipo di codice a barre in grado di memorizzare una moltitudine di informazioni. Il codice QR si distingue da un codice a barre principalmente per il suo aspetto. Il primo, infatti, assume la forma di un quadrato e contiene blocchi più piccoli e uniformi, simili al *Tetris*, mentre il secondo presenta barre verticali di diverso spessore, spesso accompagnate da un numero di serie. Grazie alla sua versatilità, un codice QR può essere programmato per molteplici scopi e può essere creato in due formati: dinamico (utile per le aziende e le organizzazioni non profit grazie alla possibilità di essere modificato anche dopo la stampa, necessita di un abbonamento

per funzionare) o statico (non può più essere modificato una volta generato, la creazione è gratuita e non ha scadenza, ma non è possibile tracciarne le scansioni). Il sito consente di creare *QR codes* che rimandino a: URL, vCard, testo, e-mail, sms, Wi-Fi, *bitcoin*, twitter, facebook, pdf, mp3, *app stores* e immagini. I *QR codes* possono essere personalizzati nella cornice, nella forma, nel colore e nel logo. Alcune di queste funzioni sono disponibili gratuitamente senza registrarsi, altre richiedono una registrazione, gratuita per 14 giorni e poi rinnovabile a pagamento con tre diversi piani tariffari.

- *App Google Street View*. *Street View* è un'applicazione di *Google Maps* nata nel 2007 dalla stravagante idea di creare una mappa del mondo a 360 gradi. Da allora sono stati acquisiti oltre 220 miliardi di immagini e più di 16 milioni di chilometri in 100 paesi e territori sommati. L'app consente infatti di esplorare virtualmente il mondo che ci circonda attraverso milioni di immagini panoramiche. I contenuti di *Street View* provengono da due fonti: *Google* (riportano i marchi “*Street View*” o “*Google Maps*” e vengono sfocati automaticamente volti e targhe presenti) e i collaboratori/utenti (associati a un nome account e, in alcuni casi, a una foto del profilo). Oltre alla possibilità di esplorare lo spazio, l'oceano e tanti altri luoghi spettacolari con l'apposita funzione “Esplora”, *Street View* offre la possibilità di importare o creare foto sferiche. Per far ciò, è sufficiente scaricare l'app sul proprio smartphone o tablet e cliccare su “Crea”. Potremo poi scegliere se creare foto di un percorso, ossia una serie di foto spostandosi lungo una strada o un itinerario, o una foto sferica, ovvero una panoramica dell'area circostante stando in piedi in un punto. Seguendo la procedura guidata, ci verrà chiesto di scattare una serie di foto leggermente sovrapposte, che saranno poi “cucite” insieme in un'unica immagine a 360°, applicando speciali algoritmi di elaborazione delle immagini per attenuare le “cuciture” e creare una transizione uniforme. Le foto potranno poi essere modificate inserendo sfocature e località di riferimento ed essere pubblicate in *Google Maps* o condivise tra i vari social o via mail.

1.2. Goal 7: “Energia pulita e accessibile”

Come primo obiettivo abbiamo scelto di affrontare il numero 7¹⁰⁰, focalizzandoci sul traguardo 7.2: *“Aumentare considerevolmente entro il 2030 la quota di energie rinnovabili nel consumo totale di energia”*, al fine di aumentare la consapevolezza sul funzionamento e sui 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. 6). 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 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 (vedi Appendice F). Si è quindi passati alla fase di sperimentazione, in cui ogni gruppo ha potuto testare le proprie ipotesi nelle varie “stazioni” allestite in classe (Fig. 14). 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.

¹⁰⁰ <https://unric.org/it/obiettivo-7-assicurare-a-tutti-laccesso-a-sistemi-di-energia-economici-affidabili-sostenibili-e-moderni/>

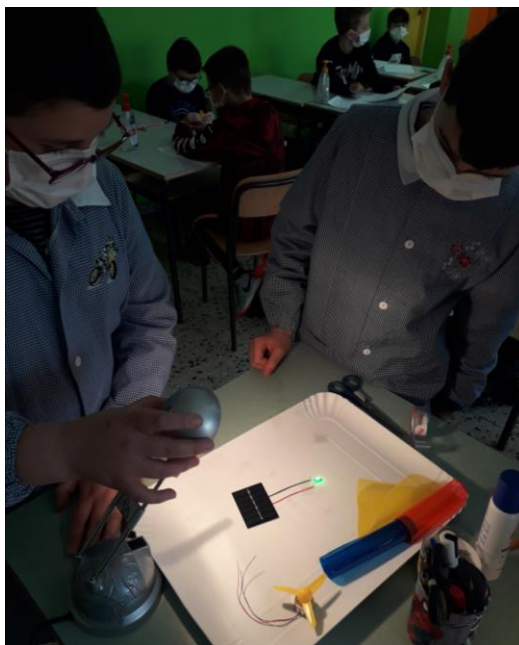


Fig. 14 – Goal 7 (A1).

Il secondo incontro può essere considerato una continuazione del primo, con l'obiettivo di rafforzare i concetti raggiunti. Infatti, dopo aver riepilogato quanto osservato, a ogni gruppo è stato chiesto di rappresentare in modo creativo con i kit LEGO uno specifico esperimento legato ad una data variabile e tipologia di energia. 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 (Fig. 15). 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.



Fig. 15 – Goal 7 (A2).

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 (Fig. 16).



Fig. 16 – Goal 7 (A3).

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 nei dintorni. 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 accorpate le varie coppie o gruppi di 3 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. 6 – Struttura Goal 7 (Parte I).

	Attività	Descrizione	Strumenti
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

1.3. Goal 11: “Città e comunità sostenibili”

L'obiettivo 11¹⁰¹ ha permesso agli alunni di riflettere sui concetti di sicurezza, sostenibilità e accessibilità, partendo proprio dai loro contesti di vita quotidiana. Abbiamo quindi posto il focus sui traguardi 1.2: “Entro il 2030, fornire l'accesso a sistemi di trasporto sicuri, sostenibili, e convenienti per tutti, migliorare la sicurezza stradale, in particolare ampliando i mezzi pubblici, con particolare attenzione alle esigenze di chi è in situazioni vulnerabili, alle donne, ai bambini, alle persone con disabilità e agli anziani” e 11.7: “Entro il 2030, fornire l'accesso universale a spazi verdi pubblici sicuri, inclusivi e accessibili, in particolare per le donne e i bambini, gli anziani e le persone con disabilità”.

In particolare, abbiamo chiesto loro di individuare nel proprio paese (o in paese limitrofi) aree, edifici e mezzi di trasporto che presentassero problematiche rispetto ad uno o più degli aspetti sopra citati, di annotare e/o fotografare tali elementi e di fare una

¹⁰¹ <https://unric.org/it/obiettivo-11-rendere-le-citta-e-gli-insediamenti-umani-inclusivi-sicuri-duraturi-e-sostenibili/>

piccola ricerca su Internet o su altre fonti cartacee per ricavare dati importanti da condividere in classe. Dopo tale fase di attivazione, anche l'obiettivo 11 si è strutturato su tre attività (vedi Tab. 7).

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 nel dettaglio attraverso un'apposita scheda informativa (Fig. 17), così articolata:

Di cosa si tratta:

Dove si trova:

Bozza della situazione attuale (com'è ora) - *disegno* -

Problematiche rilevate (es. sicurezza, accessibilità, sostenibilità/inquinamento, ecc.):

Bozza del progetto finale (come sarà) - *disegno* -

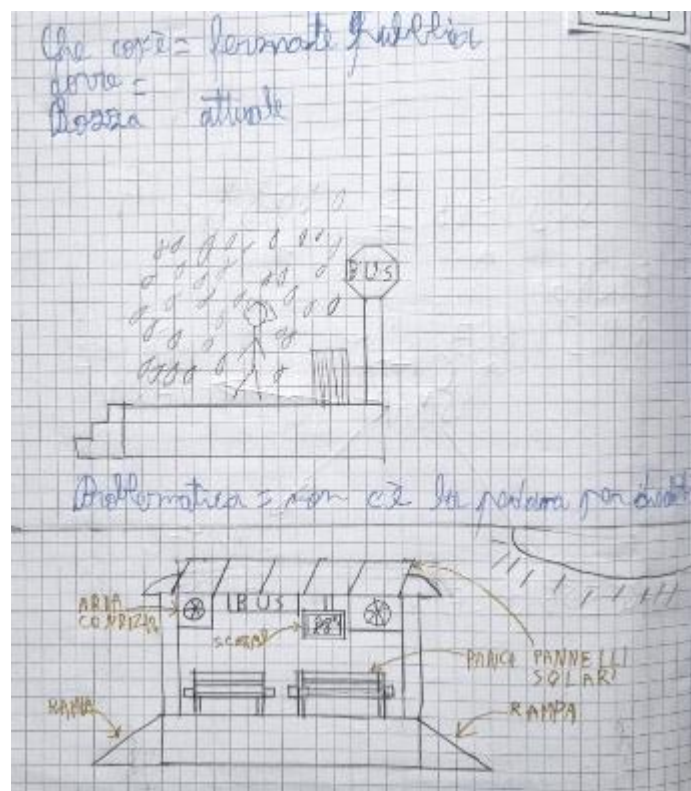
Breve descrizione del progetto di miglioramento:

Punti di forza:

Materiali necessari per la realizzazione:

Tempi di realizzazione:

Lavoratori coinvolti:



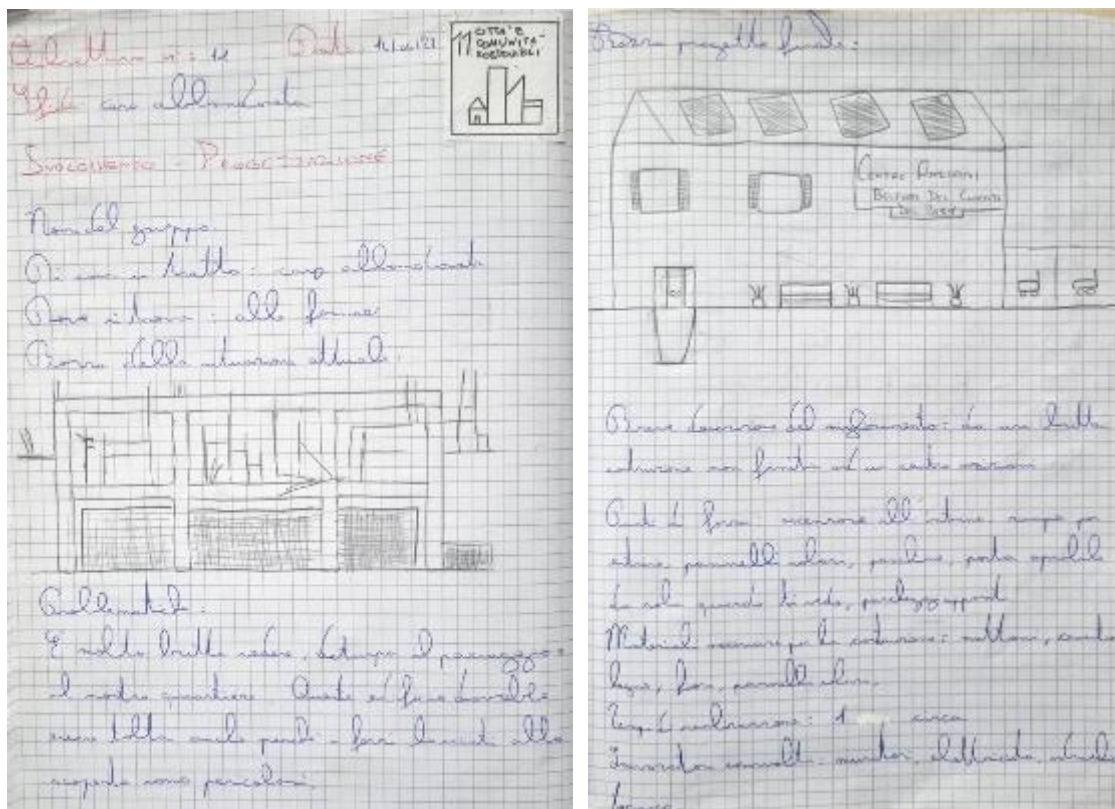


Fig. 17– Goal 11 (A1).

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 (Fig. 18). I progetti su carta e i modellini costruiti sono stati poi fotografati per disporre di documentazione utile ai fini della presentazione successiva.

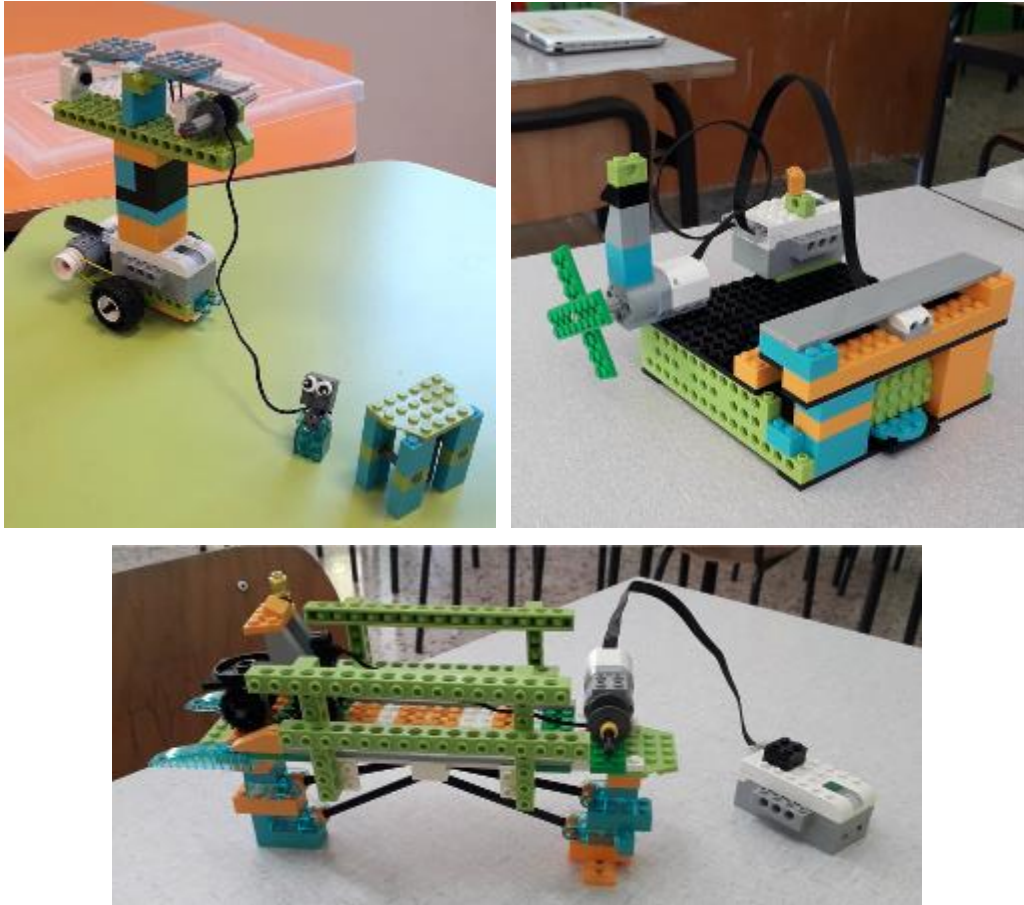


Fig. 18 – Goal 11 (A2).

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* (Fig. 19). Ogni gruppo ha quindi esposto il suo progetto proponendo una visita interattiva in 3D della propria stanza sulla LIM.



Fig. 19 – Goal 11 (A3).

Vista la rilevanza della sfida e l’elevato coinvolgimento degli studenti riscontrato, una delle tre classi ha volontariamente deciso di porre all’attenzione del proprio sindaco gli interventi progettati, ottenendo pareri di apertura e gradimento.

Tab. 7 – Struttura Goal 11 (Parte I).

	Attività	Descrizione	Strumenti
0	Anticipazione per casa	Letture 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
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 una presentazione multimediale e interattiva	Web app <i>Thinglink</i> , computer o tablet, smartphone, app <i>Google Street View</i>

1.4. Goal 15: “Vita sulla Terra”

Anche per l'ultimo obiettivo¹⁰² affrontato nella Parte I abbiamo voluto mantenere la prospettiva 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. Il focus è stato dunque posto sul traguardo 15.4: *“Entro il 2030, garantire la conservazione degli ecosistemi montani, compresa la loro biodiversità, al fine di migliorare la loro capacità di fornire prestazioni che sono essenziali per lo sviluppo sostenibile”*. L'obiettivo si è articolato su cinque fasi (vedi Tab. 8) 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 (Fig. 20). 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.

¹⁰² <https://unric.org/it/obiettivo-15-proteggere-ripristinare-e-favorire-un-uso-sostenibile-dellecosistema-terrestre/>

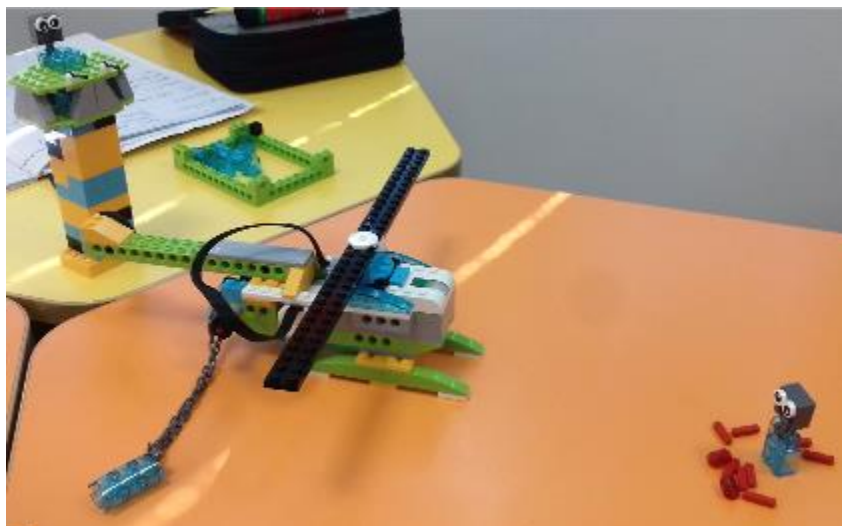


Fig. 20 – Goal 15 (A1).

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 precedenza. I loghi potevano quindi trarre ispirazione da luoghi caratteristici, flora e fauna tipica, emblemi, ecc. (Fig. 21). 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 creato, chiarendo la sua attinenza rispetto al tema, e ha ricevuto preziosi feedback per migliorare o perfezionare il suo disegno.



Fig. 21 – Goal 15 (A2).

Nell'incontro successivo, 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 un utilizzo più approfondito del software rispetto alla fase iniziale di familiarizzazione, spostando il focus sulla funzionalità del logo, piuttosto che sul contenuto, 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 alunni 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 (es. portachiavi, decorazioni per borracce, portafogli, vestiti) (Fig. 22).

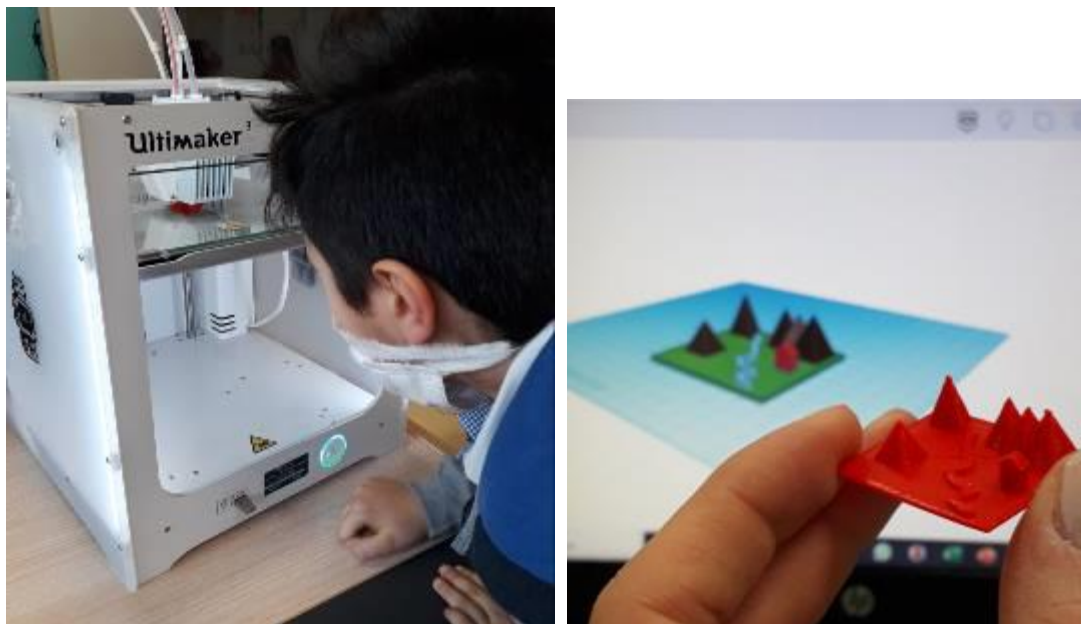




Fig. 22 – Goal 15 (A2).

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 (es. 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.) (Fig. 23). 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.



Fig. 23– Goal 15 (A3).

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. 8 – *Struttura Goal 15 (Parte I).*

	Attività	Descrizione	Strumenti
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

2. Parte II

Anche la seconda parte del progetto ha approfondito temi legati alle scienze, la geografia e l'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 nel capitolo 3, par. 2.2., infatti, la seconda parte 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 due nuovi docenti curricolari. Inoltre, gli esiti del focus group¹⁰³, condotto al termine della Parte I con gli insegnanti I1, I2 e I3, hanno contribuito ad 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.

2.1. Presentazione degli strumenti

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*¹⁰⁴ (solo classi di quinta primaria); kit *LEGO SPIKE Prime*¹⁰⁵ e relativa applicazione¹⁰⁶ (solo classi di prima secondaria); kit *Makey Makey*¹⁰⁷ e relativa estensione su *Scratch 3.0*; visori *ClassVR*¹⁰⁸; web app *Thinglink* (solo classi di quinta primaria); piattaforma *CoSpaces Edu*¹⁰⁹ (solo classi di prima secondaria); piattaforma *Wooclap*¹¹⁰.

- Kit *LEGO WeDo 2.0* e relativa estensione su *Scratch 3.0*. Le funzionalità offerte dal kit *LEGO WeDo 2.0* (vedi par. 1.1. del presente capitolo) possono essere ampliate tramite la relativa estensione su *Scratch 3.0*. I blocchi dell'estensione possono infatti interagire con le creazioni LEGO per accendere il LED, controllare motori e sensori e, integrandosi ai restanti blocchi, aggiungere animazioni ed effetti di vario tipo sullo schermo del computer, rendendo il progetto fortemente interattivo. I blocchi di estensione comprendono due blocchi di avvio codice basati sul rilevamento di

¹⁰³ Gli esiti del focus group sono descritti nel capitolo 5, par. 3.

¹⁰⁴ <https://scratch.mit.edu/>

¹⁰⁵ <https://www.lego.com/it-it/product/lego-education-spike-prime-set-45678>

¹⁰⁶ <https://education.lego.com/it-it/downloads/spike-app/software>

¹⁰⁷ <https://makeymakey.com/>

¹⁰⁸ <https://www.classvr.com/it/>

¹⁰⁹ <https://edu.cospaces.io/>

¹¹⁰ <https://www.wooclap.com/it/>

distanza o inclinazione, sei blocchi puzzle per controllare i motori e per impostare la luce del LED e due blocchi ovali e uno esagonale relativi a distanza e inclinazione. L'estensione *LEGO WeDo 2.0* è disponibile per Mac OSX e Windows 10+ e necessita dell'installazione di un *Device Manager* per collegare WeDo 2.0 a Scratch usando il *Bluetooth*.

- Kit e app *LEGO SPIKE Prime*. Il set è pensato per coinvolgere alunni tra 11 e 14 anni nell'apprendimento delle STEAM e si pone, per potenzialità offerte e semplicità di utilizzo, a metà strada tra il WeDo 2.0 e l'EV3. SPIKE Prime combina elementi di costruzione LEGO, un hardware semplice da usare e l'intuitivo linguaggio di coding *drag&drop* basato su Scratch per coinvolgere gli alunni in attività di apprendimento progressive e divertenti mirate a sviluppare il pensiero critico e a risolvere problemi complessi, indipendentemente dal livello di apprendimento. Il set si presta ad essere utilizzato sia agli ultimi anni della scuola primaria che all'inizio del percorso superiore. Esso include un robusto contenitore con vassoi, 523 elementi *LEGO® Technic*, un *hub* programmabile e 6 pezzi "speciali": un sensore di movimento, un sensore di forza/contatto, un sensore di colore, un motore angolare grande, due motori angolari medi. Il cuore del set, come per il WeDo 2.0, è l'*hub* programmabile. Questo dispositivo avanzato a forma di mattone è dotato di 6 porte di ingresso/uscita, matrice luminosa 5x5, connettività *Bluetooth*, altoparlante, giroscopio a 6 assi e batteria ricaricabile. Rispetto al WeDo 2.0, la varietà di strumenti offerti da SPIKE Prime consente agli alunni di progettare e costruire robot ancor più sviluppati, dinamici e interattivi, lavorando su un numero maggiore di variabili e condizionamenti e testando ulteriori concetti scientifici. La relativa app è compatibile con iOS, Chrome, Windows 10, Mac e Android e include: un ambiente di programmazione sviluppato in Scratch, lezioni pronte inerenti a tre macro aree d'indagine e sperimentazione scientifica con piani dettagliati, risorse per docenti (video, suggerimenti, estensioni per matematica, lingua e arte) e una sezione d'aiuto e supporto tecnico. L'ambiente di codifica per tablet e computer propone tre tipi di linguaggi di programmazione: blocchi icone, blocchi parole e python. Il linguaggio di programmazione visuale a blocchi di parole, utilizzato dagli studenti nel progetto, presenta, in aggiunta rispetto a Scratch, la categoria "motori" e quella "luce" (in sostituzione alla categoria "aspetto"), ma arricchisce le categorie già presenti

(“movimento”, “suono”, “eventi”, “sensori”) con blocchi legati a sensori e motori presenti nel kit. L’area di lavoro appare simile a quella di Scratch seppur semplificata, non essendovi finestre relative a sfondo, *sprite*, costumi e suoni. Troviamo quindi nel lato sinistro la finestra contenente i blocchi, in alto a sinistra un’icona per abilitare e verificare la connessione dell’*hub*, tramite apposito cavo USB o *Bluetooth*, mentre in basso appare un’icona per il controllo della matrice luminosa e dei pulsanti per le funzioni di *zoom-in* e *zoom-out* dello schermo e per l’arresto del programma. Oltre alle attività tutorial per familiarizzare con i pezzi “speciali” del kit (sezione “Avvio”), l’app fornisce istruzioni di montaggio (sezione “Costruisci”) e varie unità con contenuto STEAM, focalizzate su ingegneria e informatica e allineate agli standard curriculari della secondaria di primo grado (sezione “Unità”). Le unità sono inoltre ottimizzate per lezioni prevalentemente di 45 minuti ed includono piani di lezione online completi e materiali di supporto per i docenti.

- Kit *Makey Makey* e relativa estensione su *Scratch 3.0*. *Makey Makey* è nato come progetto accademico e artistico avviato da due studenti del MIT Media Lab sotto la guida di Mitchel Resnick. Ad oggi *Makey Makey* è sia un’azienda con migliaia di collaboratori in continuo aumento. Il kit di invenzione del XXI secolo è destinato ad utenti dagli 8 anni in su, esperti e principianti, per sperimentare con scienza, arte, elettricità e ingegneria. Esso può essere utilizzato in qualsiasi disciplina per aiutare gli studenti a comprendere nuovi concetti attraverso attività tangibili, interattive e *hands-on*. Il kit è pronto all’uso e la versione classica include: una schedina *Makey Makey*, 7 pinze a coccodrillo, un cavo USB, 6 fili di collegamento, istruzioni con guida visiva, documentazione online e adesivi. È disponibile anche una versione per la classe chiamata *STEM Pack*, dotata di 12 kit classici più vari accessori aggiuntivi. *Makey Makey* combina realtà fisica ed Internet, permettendo di usare oggetti di uso comune per controllare circuiti e computer. È infatti possibile realizzare oggetti creativi e divertenti, trasformando ad esempio dei frutti e dei liquidi nei tasti di un piano o una matita e della pasta da gioco in un joystick. Qualsiasi materiale conduttore può essere dunque utilizzato per creare un *touchpad* collegandolo alla schedina *Makey Makey* tramite le pinze a coccodrillo. Le pinze vengono collegate agli ingressi presenti sulla scheda e il segnale arriva alla porta USB connessa al

computer. Gli ingressi permettono di controllare le frecce di direzione, la barra spaziatrice, le lettere W, A, S, D, F e G, i click del mouse e i suoi movimenti nelle quattro direzioni. Nella parte inferiore della schedina troviamo, invece, i collegamenti a terra, necessari per funzionamento del kit. Tra i vari modi per assicurare la messa a terra, il più semplice è il contatto con un essere vivente; è infatti sufficiente toccare la parte di metallo della pinza a coccodrillo per chiudere il circuito. *Makey Makey* funziona con Chromebook, Windows, Mac OS e molti tipi di Linux. Il kit può essere utilizzato in maniera ancor più interattiva e creativa sfruttando l'estensione apparsa di recente su *Scratch 3.0*. Quest'ultima propone due blocchi aggiuntivi, entrambi di avvio codice (“quando si preme il tasto...” e “quando si preme la sequenza di tasti ...”), e consente di controllare un progetto Scratch utilizzando la schedina *Makey Makey* e tutti gli oggetti o materiali connessi ad essa. L'utente può dunque realizzare un gioco o un'esperienza interattiva sfruttando la programmazione su Scratch e l'invenzione fisica con *Makey Makey* e portando così il gioco virtuale nel mondo reale.

- Visori *ClassVR*. *ClassVR* è stato progettato per fornire a studenti e insegnanti un'interfaccia interessante e coinvolgente con cui accedere rapidamente e facilmente a contenuti educativi ed ambienti virtuali. Il cuore dell'interfaccia *ClassVR* è il *holodeck*, ‘ponte di ologrammi’, ossia una “stanza” futuristica dove gli studenti sono catapultati una volta indossato e acceso il visore. Attraverso il ponte di ologrammi, vengono mostrate varie icone, raffiguranti attività educative, luoghi o esperienze in cui immergersi. La Fig. 24 mostra nel dettaglio le tipologie di icone presenti nella la schermata iniziale visualizzata dall'utente.



- | | |
|--|---|
| <p>① VR Experiences Porta la tua classe alla scoperta di infiniti ambienti virtuali, selezionati dalla libreria ClassVR o, se preferisci, creati da te e caricati sul portale ClassVR.</p> <p>② QR Code Scanner Utile per passare rapidamente da un'esperienza virtuale ad un'altra.</p> <p>③ Wi-Fi L'icona mostra lo stato di connessione a reti Wi-Fi.</p> <p>④ Livello batteria Mostra il livello di batteria in percentuale.</p> | <p>⑤ Bluetooth L'icona indica se la connessione Bluetooth è abilitata o disabilitata.</p> <p>⑥ ARC App Carica attività preconfigurate in realtà aumentata.</p> <p>⑦ Device Information Riepilogo delle caratteristiche del visore.</p> <p>⑧ Punto bianco Fondamentale per puntare/individuare le attività desiderate.</p> |
|--|---|

Fig. 24 – Schermata visore ClassVR.

Fonte: CLASSVR. Visori di Realtà Virtuale. Manuale d'uso¹¹¹, p. 8.

Con i tasti di controllo presenti sul visore è possibile accendere e spegnere il dispositivo, moderare il volume, accedere al menù, selezionare e tornare indietro. A differenza di altri visori, *ClassVR* non richiede alcun dispositivo aggiuntivo. Tutto è completamente integrato nel dispositivo, rendendolo semplice da usare e molto affidabile. Tuttavia, per la fruizione di esperienze online, ad esempio tramite scansione di *QR codes*, è necessaria la connessione ad una rete Wi-Fi. Il docente può controllare i visori mediante una piattaforma *cloud* che consente a studenti e insegnanti di creare, caricare e condividere i propri contenuti, partecipando ad una comunità collaborativa di risorse didattiche globali. Il portale richiede una registrazione tramite organizzazione scolastica e include l'accesso ad una vasta

¹¹¹ <https://support.classvr.com/portal/en/kb/articles/user-guide>

libreria di contenuti pedagogici VR, AR e MR accattivanti, insieme a piani didattici scaricabili, guide e piani di lavoro per stimolare l'immaginazione degli studenti. Se i visori non sono controllati dal docente tramite il portale, gli studenti possono navigare tra i contenuti virtuali utilizzando i movimenti della testa, i movimenti oculari e i pulsanti di selezione. L'esperienza virtuale può essere potenziata attraverso l'uso di un controller di navigazione, connesso direttamente al visore tramite cavo USB. I visori sono disponibili anche in set da 4 o 8 visori, contenuti e ricaricati in una valigetta portatile e robusta. Il caricamento dei visori avviene tramite cavi micro-USB collegati ad un *hub* di ricarica USB integrato nella valigetta e può proseguire anche quando questa è chiusa, grazie alle ventole di raffreddamento attive.

- Web app *Thinglink* (già descritta nel par. 1.1. del presente capitolo).
- Piattaforma *CoSpaces Edu*. *Cospaces* è un'applicazione web interessante e completa per creare e fruire attività coinvolgenti e interattive in AR e VR. Adattabile a qualsiasi età o materia, *CoSpaces Edu* permette ai bambini di costruire le proprie creazioni in 3D, animarle con un codice ed esplorarle in realtà virtuale o aumentata. Lo strumento risulta dunque utile per esplorare il digitale e il coding, ma anche per sperimentare tridimensionalità, percezione dello spazio e realtà aumentata, sviluppando l'alfabetizzazione digitale e le abilità del XXI secolo. La creazione dell'ambiente 3D parte dalla scelta del template, selezionando una tra le seguenti categorie: ambiente 3D, immagine a 360° e "unisci cubo"¹¹². La prima opzione comprende a sua volta sei tipi di template: scena vuota, *multi-diorama*, galleria, *parkour game* e due tipi di presentazioni. L'ambiente scelto può essere personalizzato con effetti meteorologici, filtri, suoni di sottofondo e immagini per lo sfondo e arricchito aggiungendo oggetti, personaggi e scenari selezionati dall'apposita biblioteca. L'utente può inoltre importare risorse audio, video, GIF o immagini, anche tridimensionali, dall'esterno o tramite una ricerca sul web effettuata direttamente nell'app. Personaggi e oggetti inseriti possono interagire, parlare e attivarsi attraverso delle righe di codice semplificate e composte dall'utente stesso,

¹¹² Il template "unisci cubo" fa riferimento alla possibilità di integrare *CoSpaces Edu* al *MERGE Cube* per fruire delle varie esperienze in AR. Tale componente aggiuntivo consente di creare facilmente un ologramma in *CoSpaces Edu* e di proiettarlo sul cubo, per poi visualizzarlo tramite smartphone o tablet. In tal modo, gli studenti possono interagire fisicamente con il *MERGE Cube* e tenere in mano il proprio ologramma, sperimentando un apprendimento *embodied*.

secondo un linguaggio di programmazione a blocchi simile a quello di Scratch. Attorno al personaggio/oggetto troviamo infatti quattro icone che permettono di ingrandire/rimpicciolire, spostare lungo i tre assi, alzare/abbassare e ruotare rispetto ai vari assi/circonferenze. Cliccando con il tasto destro sull'oggetto si accede invece ad un menù di strumenti che permette di modificare l'aspetto del personaggio, inserire dei fumetti con una parte testuale e animarlo. Le possibilità di interazione e di azione che il personaggio può intraprendere sono molteplici, tra cui camminare, correre, parlare, nuotare, ecc. Il menù consente inoltre di clonare, eliminare, bloccare e abilitare l'oggetto alla codifica. Cliccando poi sull'icona "Codice" in alto a destra si aprirà l'apposita finestra per la costruzione del codice. La codifica può essere sfruttata anche per creare un'interazione condizionata tra due o più personaggi e oggetti abilitati. *CoSpaces Edu* è disponibile su qualsiasi browser Internet aggiornato e su qualsiasi desktop o laptop, compresi i *Chromebook* di Google. Non richiede download o installazione ed è fruibile in due licenze: la licenza BASIC gratuita con alcune limitazioni e quella PRO con accesso a tutte le funzionalità della piattaforma. Il docente può creare apposite classi con relativo codice di ingresso per gli studenti e assegnare dei compiti da svolgere attribuendo già un template di partenza o lasciando libertà di scelta agli studenti. Inoltre, le assegnazioni possono essere rivolte a tutti gli studenti individualmente o a gruppi composti dal docente. Gli ambienti creati possono infine essere condivisi tramite *QR code*, link, codice alfabetico o codice *embed*.

- Piattaforma *Wooclap*. *Wooclap* è una piattaforma elettronica interattiva pensata per rendere gli utenti attivi e partecipi durante le lezioni in presenza o a distanza. È un sistema di risposta del pubblico che aumenta l'interattività in tempo reale trasformando lo smartphone in uno strumento di apprendimento utilizzato per coinvolgere il pubblico. *Wooclap* dinamizza lezioni e conferenze, monitora l'apprendimento degli studenti, stimola la partecipazione e l'interesse degli ascoltatori e ottimizza l'apprendimento e la collaborazione. Nello specifico, il docente può creare uno o più "eventi" in cui inserire: presentazioni arricchite con video di *YouTube*, *Dailymotion* e *Vimeo*, nonché file mp3 e mp4, *brainstorming*, domande a risposta chiusa o aperta, domande rapide in tempo reale, sondaggi, nuvole di parole, *rating* (esprimere opinioni e sentimenti), *Message Wall* (porre domande in

diretta o reagire ai commenti degli altri utenti sul muro), quiz con combinazione di elementi (collegare elementi corrispondenti), domande “Trova un numero” o “Trova sull’immagine” (rispondere con un valore numerico / riconoscere e indicare gli elementi visivi), domande “Priorità” (assegnare punti per manifestare le proprie preferenze), domande “Ordinamento” (ordinare gli elementi in un ordine specifico), domande “Riempi gli spazi vuoti” (riempire le lacune di una frase con parole proprie) e “Test di concordanza di scritture e di giudizi” (per raccogliere e confrontare le risposte di esperti e studenti su un’unica piattaforma). Il docente può inoltre sfruttare la funzione “Contestualizzazione” per aggiungere una semplice diapositiva con un’immagine e un testo per contestualizzare le domande e la funzione “Illustrazione” per aggiungere immagini alle domande e alle risposte suggerite o attivare la modalità “Competizione” per creare sfide con punteggi tra partecipanti. Gli utenti possono collegarsi da computer, tablet o smartphone tramite link o *QR code* generati per ogni “evento” creato dal docente e partecipare in modo anonimo o autenticandosi. *Wooclap* è gratuito e illimitato per tutte le scuole k-12.

2.2. Goal 3: “Salute e benessere”

L’obiettivo 3¹¹³ ha dato avvio alla Parte II e ha posto il focus sui traguardi 3.4: *“Entro il 2030, ridurre di un terzo la mortalità prematura da malattie non trasmissibili attraverso la prevenzione e la cura e promuovere la salute mentale e il benessere”* e 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”*.

Nello specifico, esso è stato affrontato in una duplice ottica (vedi Tab. 9). 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 composte, stati di aggregazione e cambiamenti di stato della materia e vari esperimenti legati alle

¹¹³ <https://unric.org/it/obiettivo-3-assicurare-la-salute-e-il-benessere-per-tutti-e-per-tutte-le-eta/>

proprietà dell'acqua (es. tensione superficiale e deviazione del flusso d'acqua). Per far ciò hanno potuto sfruttare i vantaggi offerti dal kit *LEGO SPIKE Prime*, rispetto al *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 in questo kit, 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* (Fig. 25). 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. Sfide come questa rendono ancor più evidente l'impatto che i kit LEGO possono esercitare anche sull'apprendimento di concetti più o meno complessi legati alle scienze e alla fisica.



Fig. 25– Goal 3 (A1).

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 (es. pesticidi, nubi tossiche, diossina, antiossidanti, sostanze bioattive, sostanze prebiotiche, 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*¹¹⁴) 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

¹¹⁴ Il *Sapientino* è un gioco elettronico prodotto dalla Clementoni nel 1967. Esso è costituito da una serie di schede che presentano dei fori in prossimità delle domande, riguardanti gli argomenti più svariati, e delle relative risposte. Una volta posizionate le schede su un apposito tavolo, presente nella confezione, il giocatore può utilizzare gli spinotti in dotazione per selezionare la domanda e segnalare la risposta corrispondente. Se quest'ultima risulta esatta il circuito elettrico si chiude e viene emesso un segnale acustico o visivo.

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 (Fig. 26).

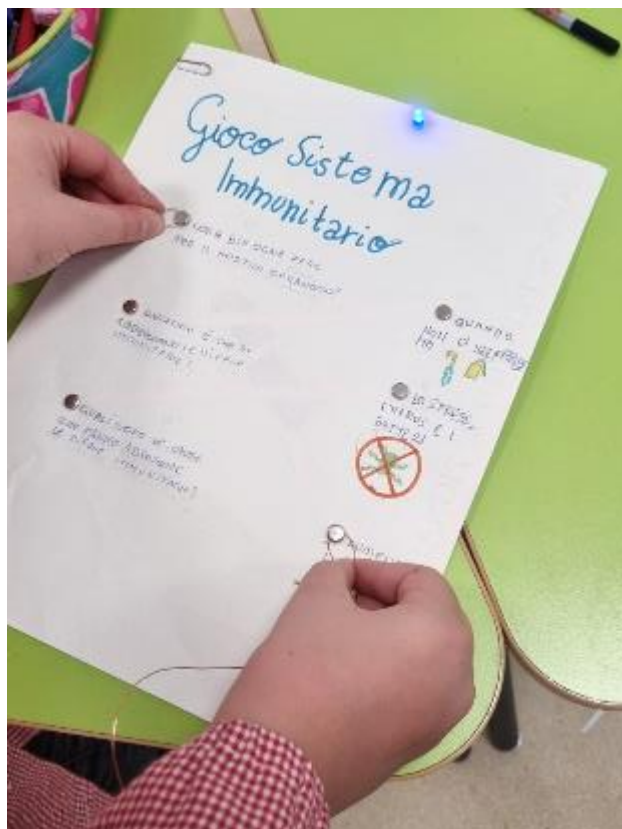


Fig. 26 – Goal 3 (A2).

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. 9 – Struttura Goal 3 (Parte II).

	Attività	Descrizione	Strumenti
0	Anticipazione per casa	Letture approfondimenti, visione video, ricerca	Materie indicate 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 LEGO WeDo 2.0, Kit LEGO SPIKE Prime, Scratch 3.0, 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 Makey Makey, LED, batterie piatte 3V, nastro di rame adesivo, materiali di cancelleria

2.3. Goal 13: “Lotta contro il cambiamento climatico”

La scelta dell’obiettivo 13¹¹⁵ 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: “*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*”, l’intento era infatti quello di sensibilizzare sulle cause e gli effetti del cambiamento climatico, nonché sui possibili interventi preventivi e mitigatori (vedi Tab. 10).

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 (Fig. 27).

¹¹⁵ <https://unric.org/it/obiettivo-13-promuovere-azioni-a-tutti-i-livelli-per-combattere-il-cambiamento-climatico/>

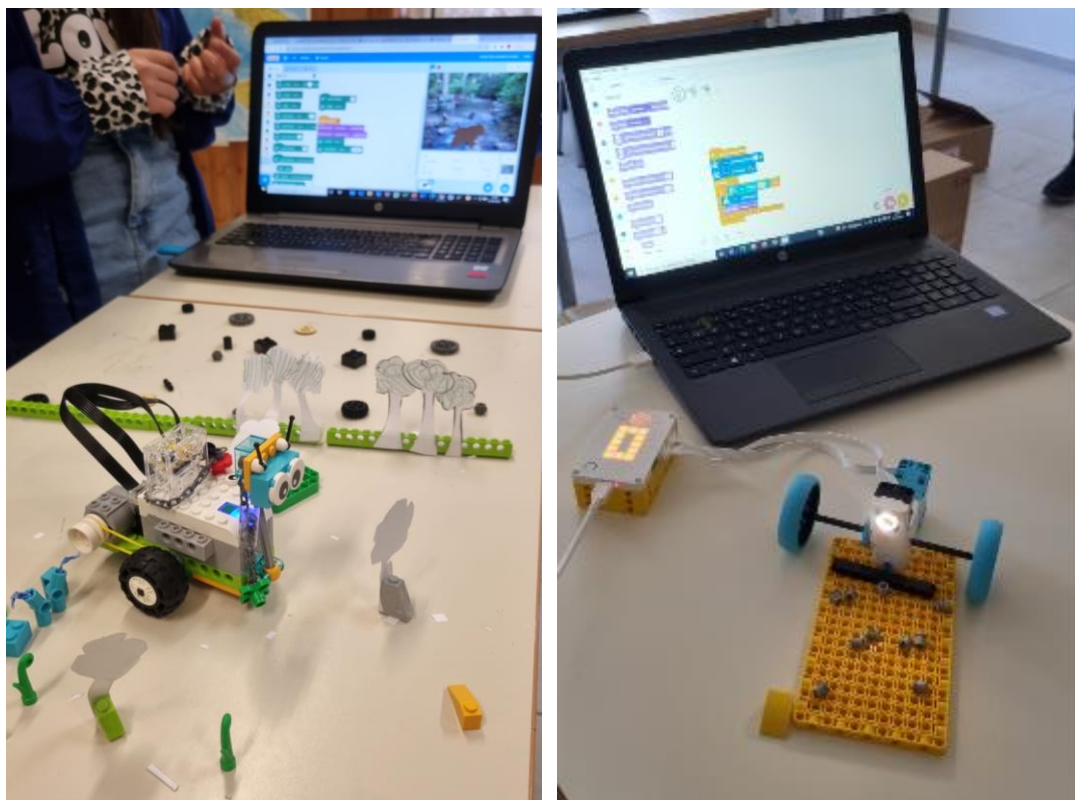


Fig. 27 – Goal 13 (A1).

Successivamente, abbiamo spostato il focus sulle azioni dell'uomo, al fine di ideare ancora una volta un gioco quesito-risposta per promuovere comportamenti utili a salvaguardare il clima e prevenire le trasformazioni climatiche, sensibilizzando sulle cause. Tale sfida richiama per intento, concetti, materiali e modalità progettuale quella posta al termine del precedente obiettivo, ma rende il gioco più “digitale” grazie all'integrazione del kit *Makey Makey* e della relativa estensione su *Scratch 3.0* (Fig. 28). 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.

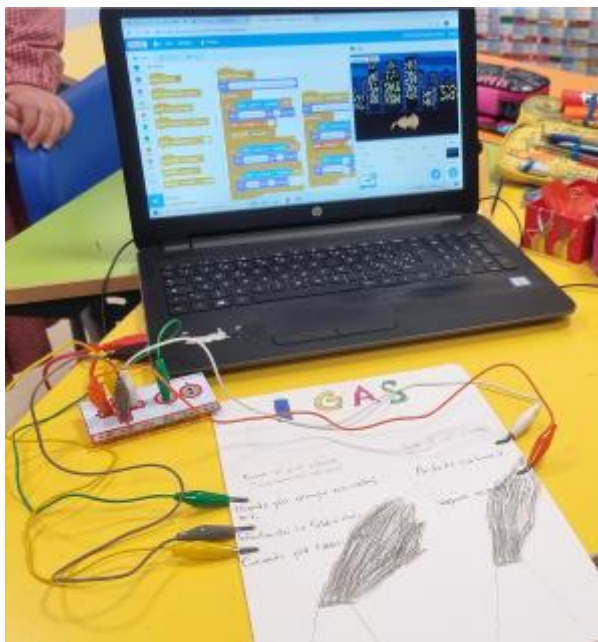


Fig. 28 – Goal 13 (A2).

Tab. 10 – Struttura Goal 13 (Parte II).

	Attività	Descrizione	Strumenti
0	Anticipazione per casa	Letture 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 LEGO WeDo 2.0, Kit LEGO SPIKE Prime, Scratch 3.0, 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 Makey Makey, Scratch 3.0, computer, nastro di rame adesivo, carta stagnola, materiali di cancelleria

2.4. Goal 14: “Vita sott’acqua”

L'ultimo obiettivo affrontato¹¹⁶ ha posto nuovamente l'accento sulla sostenibilità e sulla salvaguardia dell'ambiente naturale, incentrandosi questa volta sull'ecosistema acquatico. I traguardi presi in esame sono stati il 14.1: “Entro il 2025, prevenire e

¹¹⁶ <https://unric.org/it/obiettivo-14-conservare-e-utilizzare-in-modo-durevole-gli-oceani-i-mari-e-le-risorse-marine-per-uno-sviluppo-sostenibile/>

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” e il 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”.

A partire da una discussione collettiva sulle caratteristiche e le problematiche legate agli ecosistemi marini e costieri, individuate attraverso 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. 11). La scelta di far proseguire le classi della primaria con *Thinglink*, approfondendo le sue funzionalità, e di far conoscere e sperimentare alle classi della secondaria la nuova piattaforma *Cospaces Edu* è stata ponderata con i docenti. Abbiamo tenuto conto del diverso livello di confidenza delle classi con *Thinglink*, dei tempi a disposizione, ma anche delle prospettive curricolari. Infatti, le docenti della primaria si erano mostrate interessate ad approfondire lo strumento conosciuto l’anno precedente per continuare ad utilizzarlo per ulteriori progetti e attività, coinvolgendo anche altri colleghi contitolari. I docenti della secondaria erano invece più propensi ad approfondire la costruzione di ambienti immersivi con il nuovo strumento, in vista di futuri lavori su realtà virtuale e aumentata, soprattutto con la docente di tecnologie.

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 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 acquatica 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. Per gli studenti di scuola secondaria, in particolare, abbiamo generato un'assegnazione su *CoSpaces*, specificando titolo e descrizione della sfida e lasciando libertà sulla scelta del template fra quelli inerenti alla categoria “Ambiente 3D” (Fig. 29). Tuttavia, abbiamo consigliato di orientarsi prevalentemente sui template “scena vuota” e “multi-diorama”, poiché più adatti al loro livello di esperienza e conoscenza della piattaforma e alle peculiarità della sfida posta.



Fig. 29 – Goal 14 (A1).

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* (Fig. 30). L'immersione è avvenuta tramite il collegamento alla rete Wi-Fi della scuola e mediante la scansione del *QR code* relativo all'ambiente creato.



Fig. 30 – Goal 14 (A2).

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: (1) contenuto, (2) grafica, (3) coinvolgimento e (4) 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. 11 – Struttura Goal 14 (Parte II).

	Attività	Descrizione	Strumenti
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

Wooclap è stato infine utilizzato anche per la creazione di una *word cloud*, realizzata in ciascuna classe, che racchiudesse i termini scelti dagli alunni per evidenziare il principale punto di forza delle attività svolte nel corso del progetto. Le Fig. 31 e 32 mostrano le *word clouds* realizzate dalle due classi di quinta primaria, mentre le Fig. 33 e 34 quelle generate dalle due classi di prima secondaria.



Fig. 31 – Word cloud classe 5 Camporotondo di Fiastrone.



Fig. 32 – Word cloud classe 5 Caldarola.



Fig. 33 – Word cloud classe 1C Belforte del Chienti.



Fig. 34 – Word cloud classe 1D Belforte del Chienti.

Dall’analisi delle quattro *word clouds* ricaviamo alcuni termini più ricorrenti, come: collaborazione, coinvolgimento, creatività, divertimento, innovazione e fantasia. A fronte di ciò, emerge con chiarezza una forte corrispondenza tra tali termini e le potenzialità della *Maker Education* evidenziate in letteratura. Inoltre, è utile attenzionare anche altri interessanti termini emersi, quali: amicizia, aiutare, curiosità, impegno, originalità, felicità, tecnologia, condivisione, interessante ed emozionante. Questi ultimi, infatti, pongono l’accento sugli aspetti socio-relazionali, emotivi e innovativi, confermando l’impatto positivo dalle attività proposte su tali ambiti.

5. Risultati

L'andamento del progetto pilota è stato monitorato in tutte le sue fasi mediante l'integrazione di più tipologie di strumenti per la raccolta dati (descritte nel capitolo 3, par. 4.3.), utili ad apprezzare i differenti esiti dello stesso. Il presente capitolo mira, dunque, a presentare e discutere i dati quantitativi derivanti dai due questionari somministrati (par. 1.) e i dati di natura qualitativa, a supporto dei primi, ricavati da osservazioni sul campo, diari di bordo degli studenti (par. 2.) e focus group con gli insegnanti coinvolti nella Parte I (par. 3.), al fine di elaborare una sintesi e tracciare le prime considerazioni finali (par. 4.).

1. PRE-POST Questionari

Nei seguenti sottoparagrafi si riporta l'analisi dei dati raccolti tramite i due questionari Q1 e Q2 (vedi Appendici A e B) somministrati in quattro momenti della sperimentazione: inizio e termine della Parte I e inizio e termine della Parte II. Nello specifico, si discute il confronto pre-post della Parte I (par. 1.1.), quello pre-post della Parte II (par. 1.2.) e, infine, un confronto conclusivo che tiene conto di entrambe le parti (par. 1.3.). Si è ritenuto inoltre opportuno e interessante, viste le attuali considerazioni sul tema (vedi capitolo 2, par. 3.1.5.), approfondire l'analisi soffermandosi sulla variabile genere (par. 1.4.). 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.

1.1. Parte I

Il confronto pre-post della Parte I mostra un miglioramento generale nei vari ambiti indagati.

Per quanto concerne il Q1, i punteggi più alti emergono dalle abilità del XXI secolo (vedi Graf. 5). In particolare, nel post-test, la media dei punteggi si attesta a 3,89/5 (pre-test: 3,8/5). Le aree che hanno ottenuto i punteggi più elevati sono (4) Rispettare le

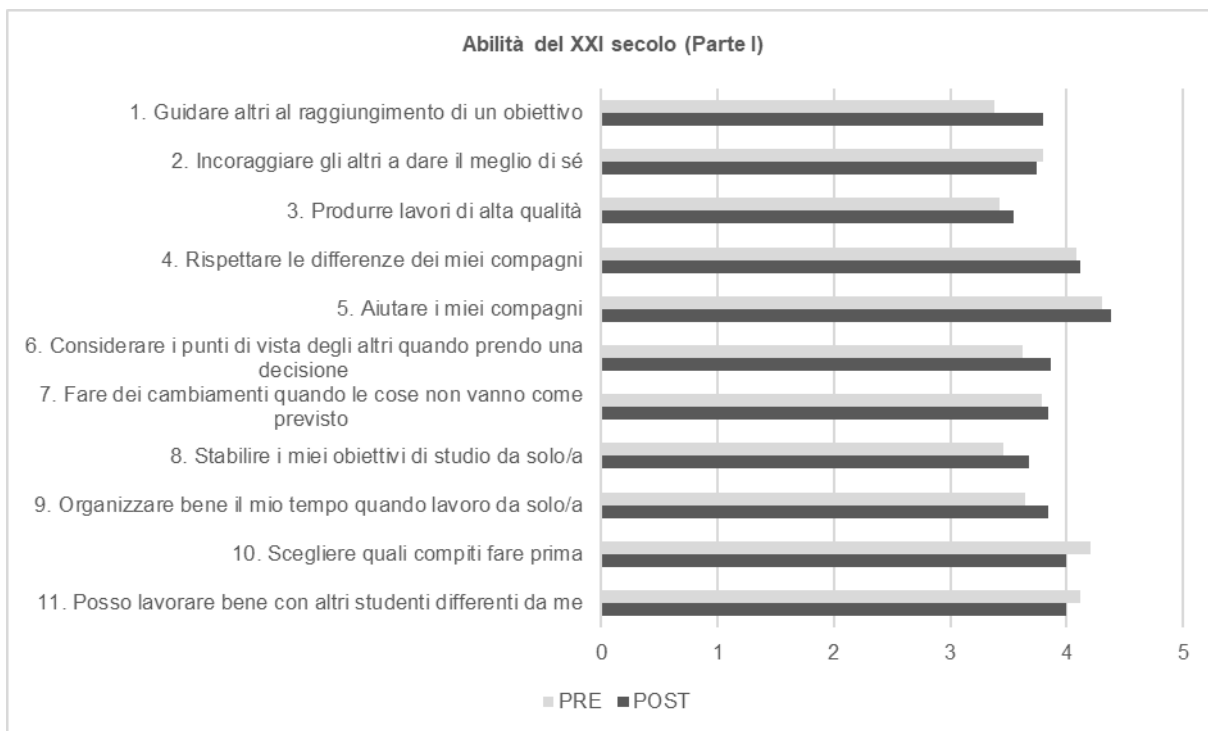
differenze dei miei compagni (pre-test 4,08; post-test: 4,12) e (5) Aiutare i miei compagni (pre-test: 4,3; post-test: 4,38), più legate alla sfera interpersonale (rispetto e aiuto reciproco), mentre quelle con i punteggi più bassi, ma comunque considerevoli, sono (3) Produrre lavori di alta qualità (pre-test: 3,42; post-test: 3,54) e (8) Stabilire i miei obiettivi di studio da solo/a (pre-test: 3,46; post-test: 3,68), più legate alla sfera personale (risultati e obiettivi personali). Tuttavia, le principali aree di miglioramento sono: (1) Guidare gli altri a raggiungere un obiettivo [+12,43%], (6) Considerare il punto di vista degli altri quando si prendono decisioni [+6,63%], (8) Stabilire i miei obiettivi di studio [+6,36%] e (9) Organizzare bene il mio tempo quando lavoro da solo [+5,49%]. Pertanto, questa prima analisi suggerisce un impatto iniziale soprattutto sulle competenze organizzative e sociali degli studenti.

Tra le materie STEM, gli studenti mostrano un' *attitude* complessiva più elevata nei confronti dell'ingegneria e della tecnologia (vedi Graf. 6), con un punteggio medio nel post-test di 3,75/5 (pre-test: 3,71/5). In particolare, in entrambe le somministrazioni, i punteggi più elevati emergono dai seguenti item: (6) Sono curioso/a di sapere come funziona l'elettronica (pre-test: 4,2; post-test: 4,2), (1) Mi piace immaginare di creare nuovi prodotti (pre-test: 4,1; post-test: 4,18) e (4) Mi interessa sapere come funziona una macchina, un dispositivo, un apparato, ecc. (pre-test: 3,9; post-test: 4,08). Gli item citati ci consentono di constatare un interesse diffuso verso tali ambiti, spesso considerati “fuori dalla portata” di alunni di questa fascia di età. Inoltre, l'interesse verso il funzionamento di dispositivi e apparati e la creazione di nuovi prodotti conferma la propensione degli alunni verso dinamiche di *making* e *tinkering*. Per quanto concerne gli item relativi al futuro impiego in questi campi, pur ottenendo punteggi inferiori rispetto agli altri, essi emergono come aree di miglioramento nel confronto pre-post: (5) Progettare prodotti sarà importante nel mio lavoro futuro [+5,06%] e (9) Credo di poter avere successo in un lavoro nel campo dell'ingegneria [+5,1%]. Abbiamo infine riscontrato un buon miglioramento anche nell'abilità di costruire o riparare oggetti (3) [+7,06%].

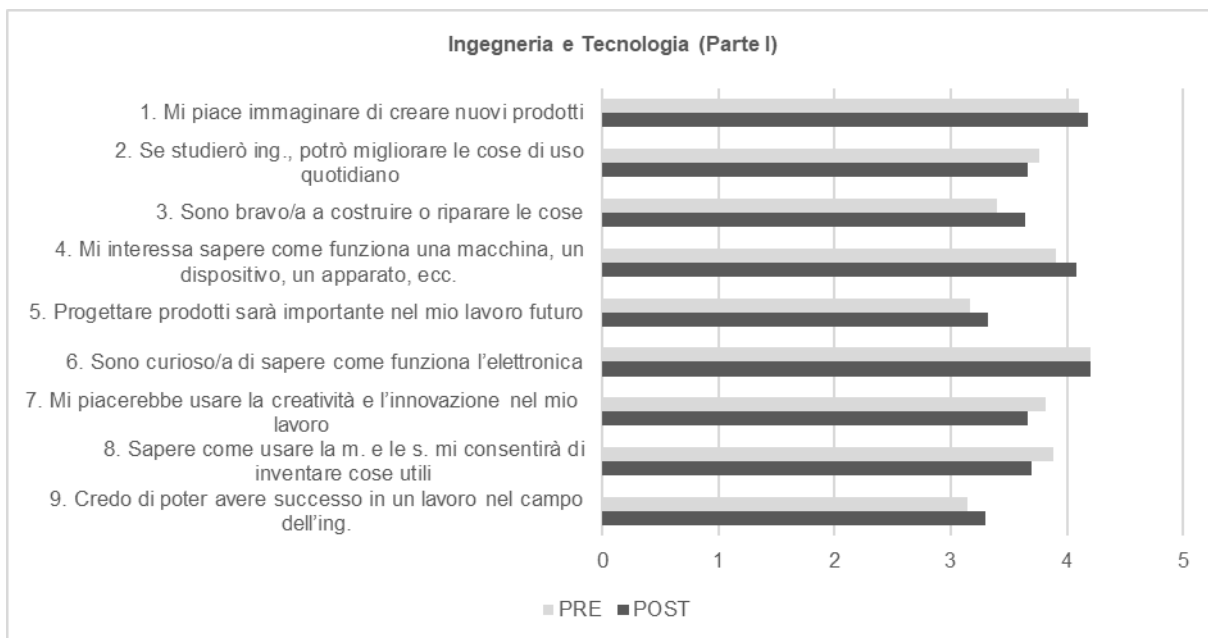
Infine, per quanto riguarda la matematica e le scienze, abbiamo deciso di rappresentarle assieme in un unico grafico, come per i campi di ingegneria e tecnologia, selezionando le domande più rilevanti ai fini della ricerca (vedi Graf. 7). I quesiti dei due campi appaiono infatti molto simili e sono raggruppabili in due categorie: sentirsi

capaci nella materia e avere prospettive future di studio o lavoro nel campo. L'area della matematica risulta più orientata alla prima categoria (6 item su 7), mentre quella delle scienze alla seconda (6 item su 9). Troviamo inoltre quattro quesiti di tipo “reverse”¹¹⁷, segnalati in Appendice A con il simbolo (R), di cui tre per la matematica e uno per le scienze. Abbiamo dunque ritenuto opportuno escludere gli item *reverse*, poiché rivelatisi spesso ingannevoli per gli alunni, e selezionare da uno a quattro item per categoria per entrambe le discipline. Considerando il pre-test, la matematica e le scienze mostrano punteggi inferiori rispetto agli altri costrutti (media pre-test: 3,32/5; media post-test: 3,38/5). I punteggi più bassi sono legati alla scelta di un lavoro che richieda un utilizzo delle discipline a livello avanzato: (3) Posso fare un lavoro che usi la matematica a livello avanzato (pre-test: 3; post-test: 3) e (8) Posso fare un lavoro che usi le scienze a livello avanzato (pre-test: 2,96; post-test: 2,96). Individuiamo inoltre un item in regressione relativo all'andamento scolastico nella matematica (2). Tuttavia, i punteggi più elevati nel post-test sono legati alle prospettive di miglioramento nelle discipline: (4) Posso ottenere buoni voti in matematica (pre-test: 3,98; post-test: 4) e (5) So di poter esser bravo/a in scienze (pre-test: 3,92; post-test: 3,9). Inoltre, notiamo un miglioramento nel considerare queste aree per studi o lavori futuri. Si evidenziano infatti come principali aree di incremento la (7) Le scienze saranno importanti nel lavoro che vorrei fare [+11,89%], la (1) Farei studi o lavori che usino la matematica [+7,27%] e la (6) Mi aspetto di usare le scienze dopo gli studi [+5,29%].

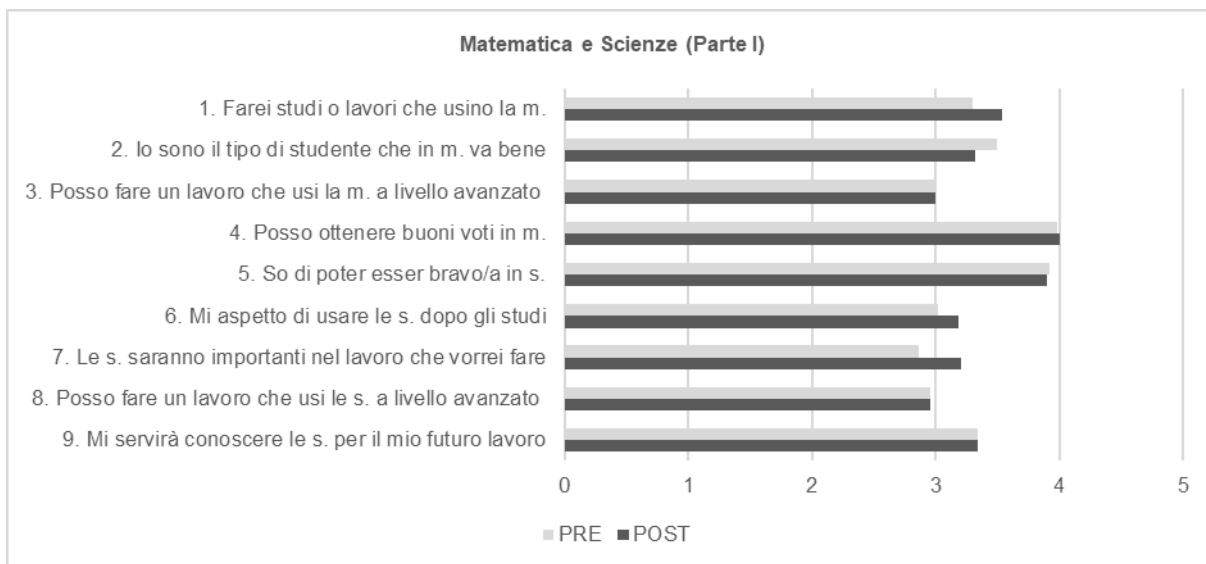
¹¹⁷ Gli item *reverse* presentano una formulazione opposta rispetto ai tradizionali quesiti presenti nel test, definiti item *straight*. Gli item *straight* hanno quindi contenuto orientato nella direzione del costrutto, mentre gli item *reverse* vanno nella direzione opposta.



Graf. 5– Q1-abilità del XXI secolo (pre-post Parte I).



Graf. 6– Q1-Ingegneria e Tecnologia (pre-post Parte I).



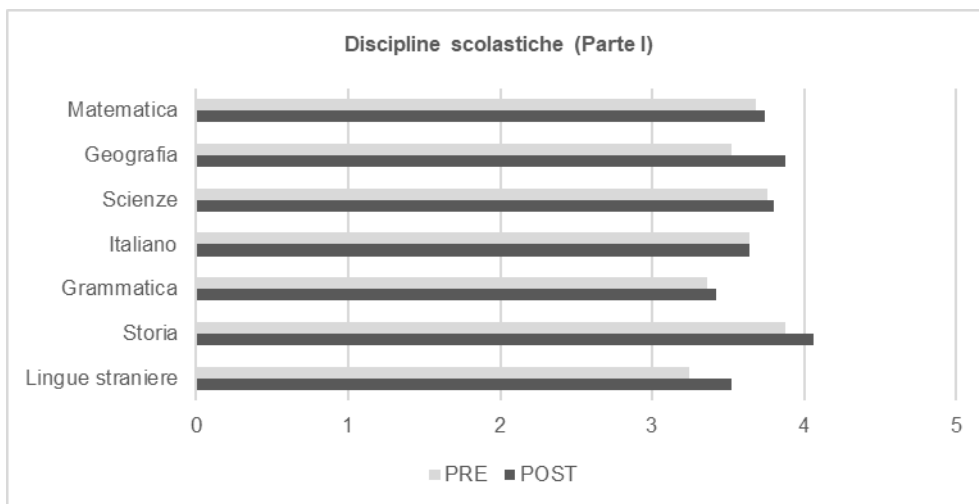
Graf. 7 – Q1-Matematica e Scienze (pre-post Parte I).

Anche l'analisi dei dati del Q2 mostra punteggi elevati e un aumento complessivo dell'autoefficacia degli studenti nei confronti delle discipline scolastiche e delle abilità indagate (media pre-test: 3,58/5; media post-test: 3,72/5).

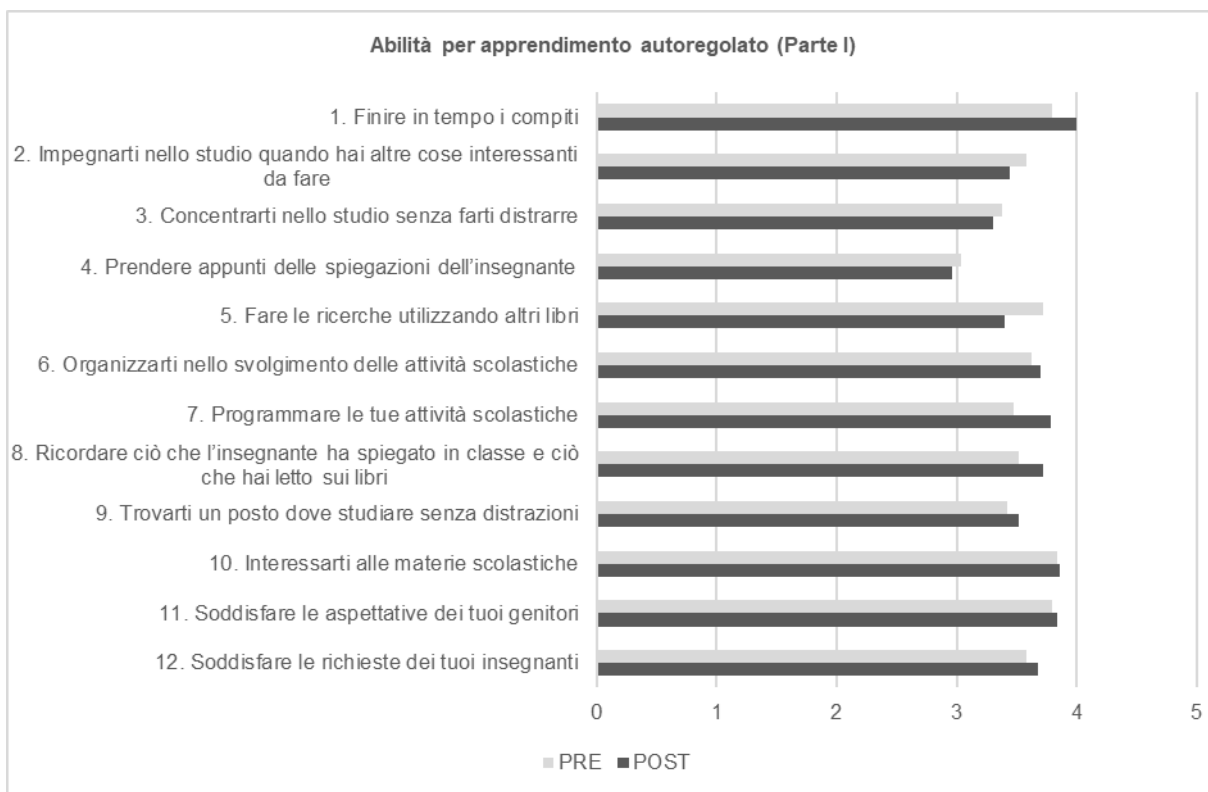
In particolare, gli studenti hanno espresso una maggiore autoefficacia verso tutte le materie (vedi Graf. 8), comprese quelle non appartenenti all'ambito STEM, come storia (pre-test: 3,88; post-test: 4,06) e geografia (pre-test: 3,52; post-test: 3,88). Un miglioramento consistente si evidenzia inoltre per le lingue straniere [+8,64%] e per la già citata geografia [+10,22%].

Osservando poi il Graf. 9, notiamo un buon incremento sulla maggior parte delle abilità indagate (media pre-test: 3,56; media post-test: 3,6), pur evidenziandosi delle aree in leggera regressione. Si conferma l'impatto positivo sulle competenze organizzative, evidenziato anche nel Q1: (7) Programmare le attività scolastiche [+8,62%], (6) Organizzarsi nello svolgimento delle attività [+2,20%] e (1) Finire i compiti in tempo [+5,26%]. Le attività proposte, per la loro natura e strutturazione, insistevano infatti particolarmente sulla capacità di progettare, organizzarsi e gestire i tempi assegnati. Gli studenti hanno inoltre mostrato interesse per le materie scolastiche (10) e per le aspettative di insegnanti (11) e genitori (12). Al contrario, come aree da potenziare si evidenziano: (4) Prendere appunti durante la spiegazione dell'insegnante, (5) Fare ricerche consultando risorse esterne, (3) Concentrarsi nello studio senza distrarsi e (2) Impegnarti nello studio quando hai altre cose interessanti da fare. Tali aree

più critiche rispecchiano alcune delle principali difficoltà riscontrate dagli alunni, anche al di fuori delle attività progettuali, in quanto poco abituati a prendere appunti e a selezionare e consultare risorse extra in maniera autonoma o a evitare distrazioni durante lo studio.



Graf. 8 – Q2-Discipline scolastiche (pre-post Parte I).



Graf. 9 – Q2- Abilità per apprendimento autoregolato (pre-post Parte I).

I risultati raccolti in questa prima parte del progetto risultano promettenti. I dati del primo confronto pre-post dei due questionari mostrano infatti un complessivo aumento dei livelli di *attitude* e autoefficacia verso le materie scolastiche e le abilità del XXI secolo degli studenti. I dati sottolineano in particolare l'interesse degli studenti per l'ingegneria e la tecnologia e il miglioramento delle loro competenze organizzative e interpersonali. Di fatto, le abilità del XXI secolo sono state molto sollecitate dal tipo di attività promosse, ottenendo l'incremento maggiore sia nel Q1 che nel Q2. La matematica e le scienze rimangono le aree su cui lavorare maggiormente, nonostante un iniziale miglioramento delle prospettive di studio o di lavoro in questi campi. Emerge infatti un'*attitude* complessivamente inferiore rispetto alle altre materie.

La seconda parte del progetto mirava ad integrare ancor più efficacemente le attività nel curriculum per lavorare sul senso di autoefficacia degli alunni e rendere gli insegnanti sempre più autonomi, attivi e consapevoli.

1.2. Parte II

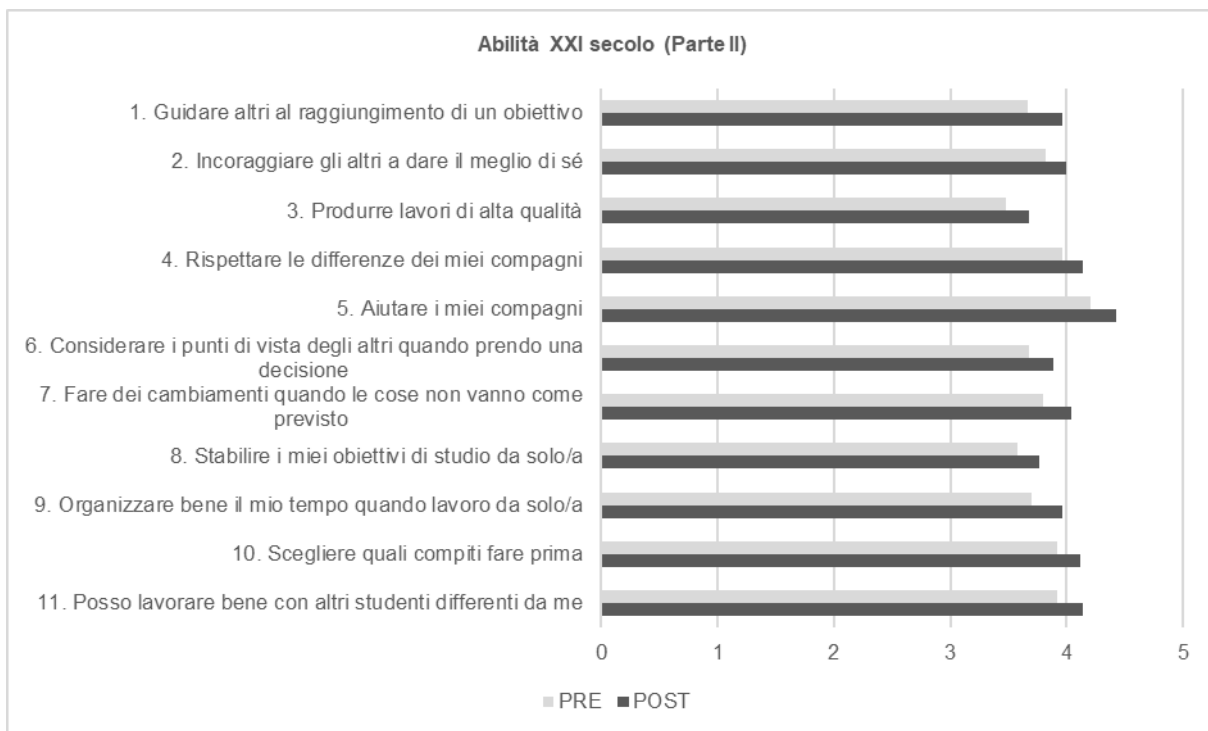
L'analisi pre-post della Parte II conferma i risultati preliminari della Parte I.

In riferimento al Q1, i valori di *attitude* più elevati sono attribuibili nuovamente alle abilità del XXI secolo (media pre-test: 3,79; media post-test: 4,01). Il Graf. 10 mostra un miglioramento generale in tutte le aree, con un maggior bilanciamento dell'incremento delle stesse. Nel post-test, gli item con i punteggi più elevati sono, ancora una volta, relativi alle abilità interpersonali: (5) Aiutare i miei compagni (pre-test: 4,2; post-test: 4,42), (4) Rispettare le differenze (pre-test: 3,96; post-test: 4,14) e (11) Posso lavorare bene con altri studenti differenti da me (pre-test: 3,92; post-test: 4,14). Troviamo poi il maggior range di incremento nelle seguenti aree: (1) Guidare altri al raggiungimento di un obiettivo [+8,20%], (9) Organizzare bene il mio tempo quando lavoro da solo/a [+7,03%], (7) Fare dei cambiamenti quando le cose non vanno come previsto [+6,32%] e (11) Posso lavorare bene con altri studenti differenti da me [+5,61%]. Con i punteggi più bassi si confermano invece gli item (3) Produrre lavori di alta qualità e (8) Stabilire i miei obiettivi di studio da solo/a, che però mostrano un buon incremento rispetto al pre-test: (3) [+5,75%] e (8) [+5,03%]. In relazione ai risultati del pre-post della Parte I, possiamo quindi confermare uno sviluppo delle competenze

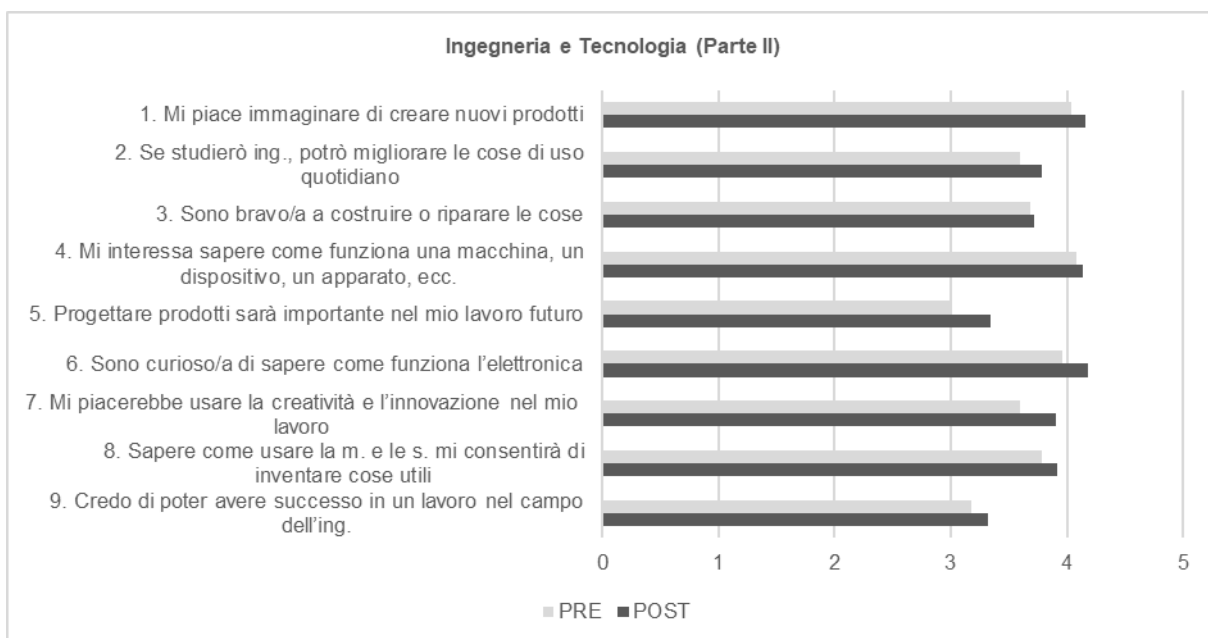
relazionali e organizzative, ma anche una migliore capacità di affrontare gli imprevisti e di cambiare i piani (7).

Per quanto concerne l'*attitude* verso i campi STEM, rileviamo ancora una discrepanza tra i valori di ingegneria e tecnologia (media pre-test: 3,66; media post-test: 3,83) e quelli di matematica e scienze (media pre-test: 3,25; media post-test: 3,46). Tuttavia, si evidenzia un incremento rilevante negli ultimi due campi. Nei campi di ingegneria e tecnologia non troviamo più item in regressione (vedi Graf. 11). L'*attitude* si conferma particolarmente sviluppata in relazione alla curiosità verso questi campi e alla possibilità di creare nuovi prodotti, aspetti indubbiamente essenziali per le attività maker: (6) Sono curioso/a di sapere come funziona l'elettronica (pre-test: 3,96; post-test: 4,18), (1) Mi piace immaginare di creare nuovi prodotti (pre-test: 4,04; post-test: 4,16) e (4) Mi interessa sapere come funziona una macchina, un dispositivo, un apparato, ecc. (pre-test: 4,08; post-test: 4,14). Le principali aree di miglioramento sono invece legate alle prospettive lavorative in tali settori (5) [+11,33%], (7) [+8,33%] e all'interesse per l'elettronica (6) [+5,56%]. Interessante è anche il cambiamento di visione rispetto all'utilità di matematica e scienze per le invenzioni (8) e allo studio dell'ingegneria per migliorare artefatti di uso quotidiano (2).

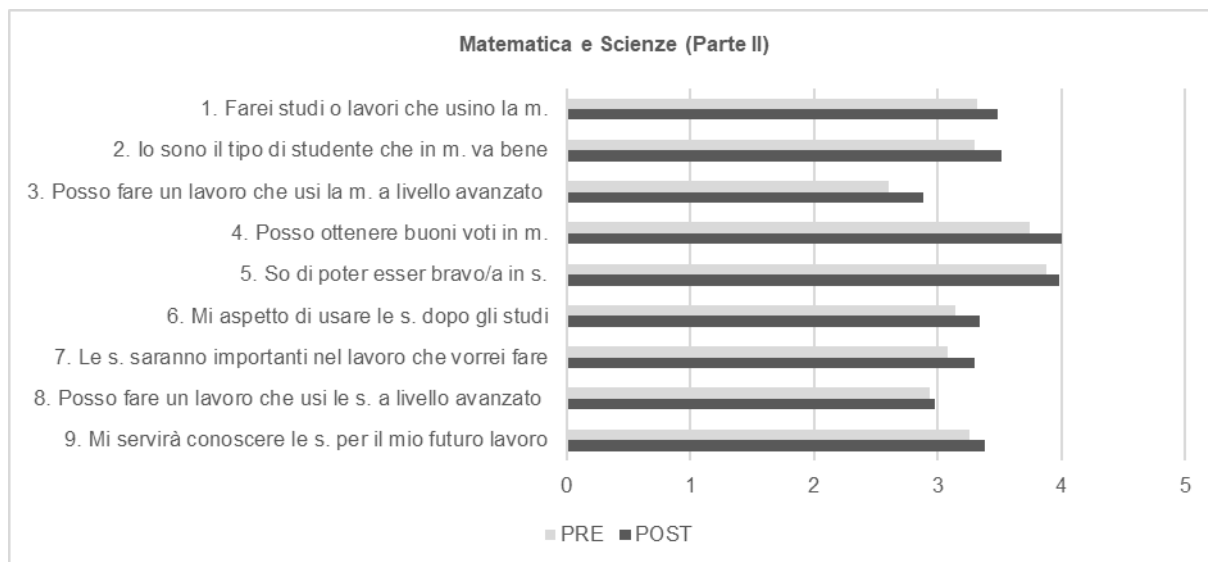
Anche nei costrutti di matematica e scienze non si rilevano più aree di decrescita (vedi Graf. 12), mentre riscontriamo ancora un'elevata *attitude* verso le prospettive di miglioramento nelle discipline: (4) Posso ottenere buoni voti in matematica (pre-test: 3,74; post-test: 4) e (5) So di poter esser bravo/a in scienze (pre-test: 3,88; post-test: 3,98). Inoltre, rispetto al confronto pre-post della Parte I, quello della Parte II rivela un incremento dell'*attitude* in tutti gli item. Tra questi i più consistenti sono: (3) Posso fare un lavoro che usi la matematica a livello avanzato [+10,77%], (7) Le scienze saranno importanti nel lavoro che vorrei fare [+7,14%], (4) Posso ottenere buoni voti in matematica [+6,95%], (2) Io sono il tipo di studente che in matematica va bene [+6,67%] e (6) Mi aspetto di usare le scienze dopo gli studi [+6,37%]. Ritroviamo dunque le aree (7) e (6) relative all'occupazione nel settore scientifico, ma molto promettenti sono anche le ulteriori aree (3), (4) e (2) riguardanti sia il buon andamento in matematica che il suo utilizzo a livello avanzato per un futuro impiego.



Graf. 10 – Q1-abilità del XXI secolo (pre-post Parte II).



Graf. 11 – Q1-Ingegneria e Tecnologia (pre-post Parte II).



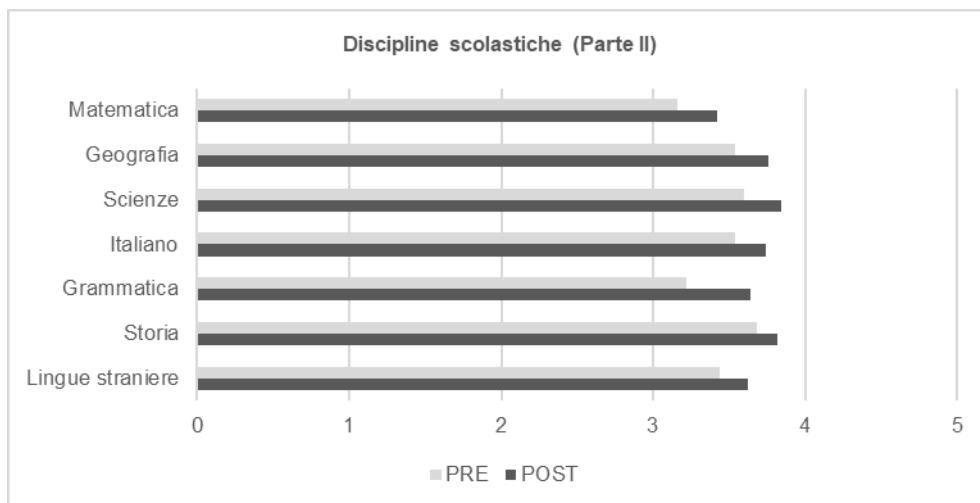
Graf. 12 – Q1-Matematica e Scienze (pre-post Parte II).

Analizzando i dati del Q2, il Graf. 13 mostra un maggior equilibrio nei valori di autoefficacia percepita verso le varie discipline scolastiche, pur ottenendo dei punteggi medi leggermente inferiori rispetto alla Parte I (media pre-test: 3,45/5; media post-test: 3,69/5).

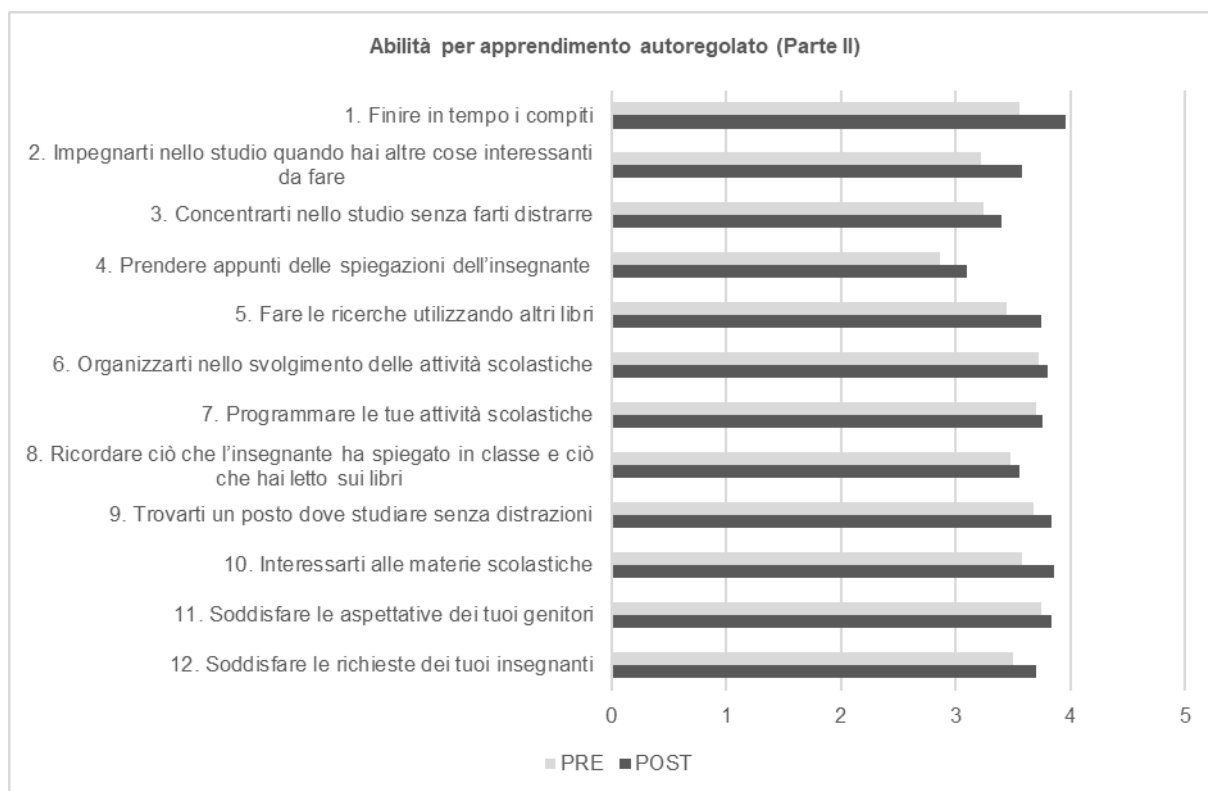
Nello specifico, tutte le aree risultano in crescita e i punteggi più elevati si riscontrano questa volta per scienze (pre-test: 3,6; post-test: 3,84), seguita da storia (pre-test: 3,68; post-test: 3,82) e geografia (pre-test: 3,54; post-test: 3,76). Le discipline con il range di incremento più ampio sono: grammatica [+13,04%], matematica [+8,23%], scienze [+6,67%] e geografia [+6,22%].

Anche nella sezione relativa alle abilità per l'apprendimento autoregolato emerge un incremento generale di tutte le aree, con un buon equilibrio tra i vari item e un punteggio medio pre-test di 3,48/5 e post-test di 3,68/5 (vedi Graf. 14). È interessante notare uno sviluppo delle aree più critiche evidenziate nella Parte I: (5), (4), (3) e (2). Oltre all'impatto del progetto, tale crescita è riconducibile al passaggio di gran parte degli alunni alla classe quinta e soprattutto alla prima secondaria, dove si insiste maggiormente su tali abilità (fare ricerche consultando varie fonti, prendere appunti, impegnarsi e concentrarsi nello studio). I maggiori incrementi pre-post si rilevano per gli item (1) Finire in tempo i compiti [+11,24%], (2) Impegnarti nello studio quando hai altre cose interessanti da fare [+11,18%] e (5) Fare le ricerche utilizzando altre fonti [+8,72%]. Permangono infine valori elevati di autoefficacia rispetto alle competenze di

organizzazione (6) (pre-test: 3,72; post-test: 3,8) e programmazione (7) (pre-test: 3,7; post-test: 3,76).



Graf. 13 – Q2-Discipline scolastiche (pre-post Parte II).



Graf. 14 – Q2-Abilità per apprendimento autoregolato (pre-post Parte II).

1.3. Confronto Parte I - Parte II

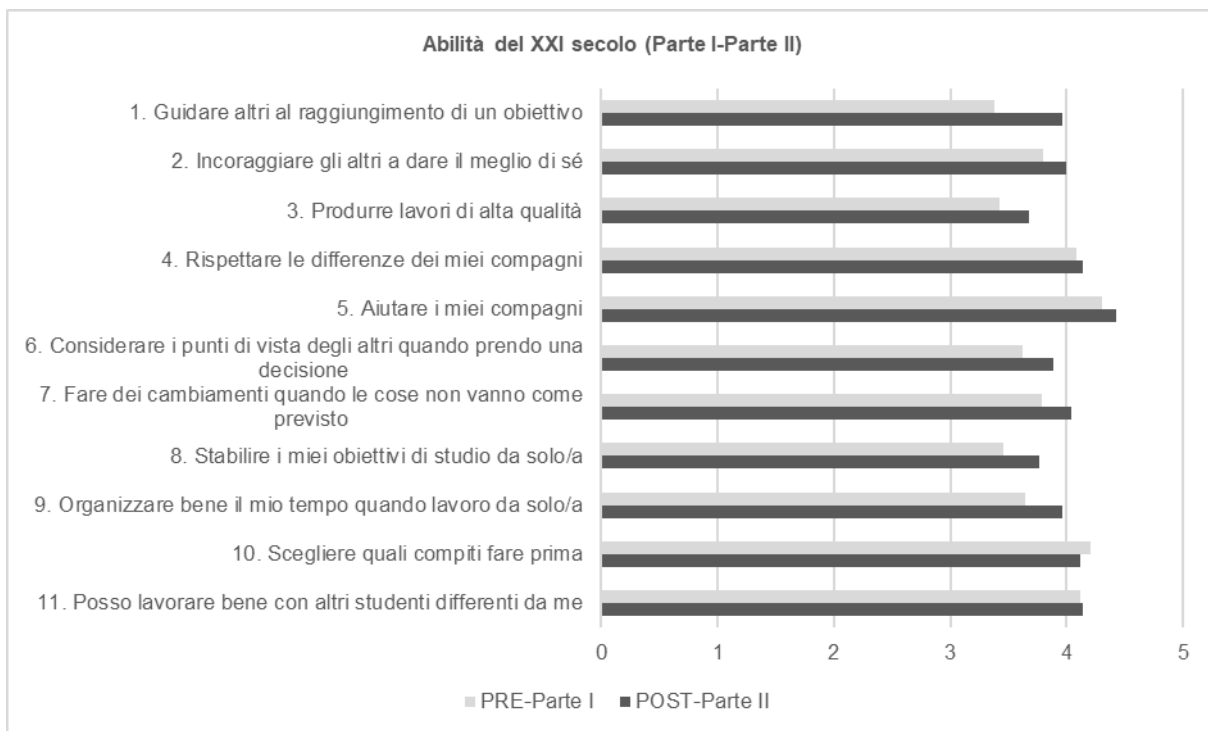
Per quanto concerne il Q1, sia nell'analisi post-Parte I che in quella post-Parte II, l'atteggiamento verso le abilità del XXI secolo ha mostrato i punteggi più alti rispetto alle altre aree indagate, con un punteggio medio di 3,89/5 nel post-Parte I e 4,01/5 nel post-Parte II. Ulteriori dati provengono dal confronto tra il pre-Parte I e il post-Parte II (vedi Graf. 15). In questo caso, troviamo una variazione più contenuta per i valori degli item (4), (5) e (11) relativi alla sfera interpersonale, in quanto già elevati nel pre-Parte I. Notiamo invece un considerevole aumento degli item (1) Guidare altri al raggiungimento di un obiettivo [+17,16%] e (9) Organizzare bene il mio tempo quando lavoro da solo/a [+8,79%], già emerso nei confronti pre-post di entrambe le parti, seguiti dalle aree (8) Stabilire i miei obiettivi di studio da solo/a [+8,67%] e (3) Produrre lavori di alta qualità [+7,60%]. Inoltre, si conferma un buon miglioramento di (6) Considerare i punti di vista degli altri quando prendo una decisione [+7,18%] e (7) Fare dei cambiamenti quando le cose non vanno come previsto [+6,88%]. Rispetto al pre-post della Parte I e della Parte II, si nota quindi un progresso rilevante nelle competenze più legate alla sfera personale, mentre si mantengono comunque elevate le competenze interpersonali (2), (4), (5), (6) e (11). In generale, si evidenzia un buon range di incremento per quasi tutte le competenze indagate, con un intervallo di crescita complessivo tra il punteggio medio del pre-Parte I e quello del post-Parte II di +5,53%.

Analizzando gli altri costrutti del Q1, rileviamo uno sviluppo generale dell'*attitude* verso entrambe le macro-aree: ingegneria e tecnologia (media pre-Parte I: 3,71; media post-Parte II: 3,83); matematica e scienze (media pre-Parte I: 3,32; media post-Parte II: 3,43). L'area scientifico-matematica, pur mostrando valori medi inferiori, ha un range di crescita leggermente superiore rispetto all'altro costrutto: ingegneria e tecnologia [+3,23%] e matematica e scienze [+3,31%].

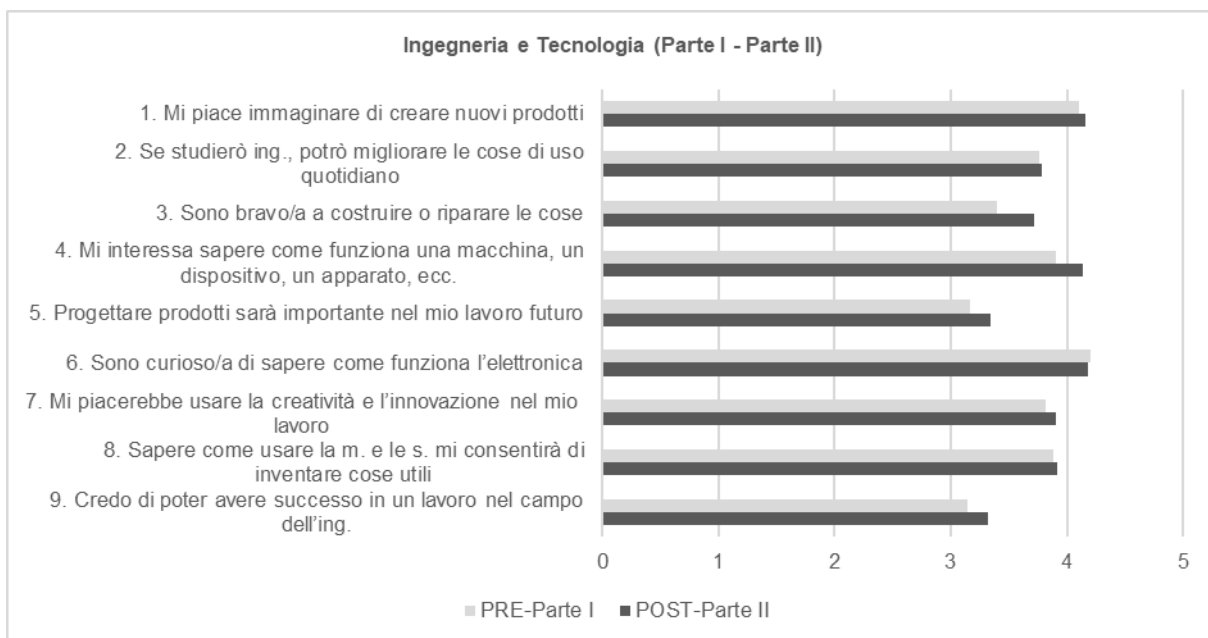
Per l'ingegneria e la tecnologia gli studenti hanno mostrato in entrambe le somministrazioni un'*attitude* superiore per gli item (6) Sono curioso/a di sapere come funziona l'elettronica (pre-Parte I: 4,2; post-Parte II: 4,18), (1) Mi piace immaginare di creare nuovi prodotti (pre-Parte I: 4,1; post-Parte II: 4,16) e (4) Mi interessa sapere come funziona una macchina, un dispositivo, un apparato, ecc. (pre-Parte I: 3,9; post-Parte II: 4,14) (vedi Graf. 16). Gli item con il maggiore range di crescita sono: (3) Sono bravo/a a costruire o riparare le cose [+9,41%], (4) Mi interessa sapere come funziona una macchina, un dispositivo, un apparato, ecc. [+6,15%], (9) Credo di poter avere

successo in un lavoro nel campo dell'ingegneria [+5,73%] e (5) Progettare prodotti sarà importante nel mio lavoro futuro [+5,70%]. Lo sviluppo di tali aree si era già moderatamente evidenziato nei confronti pre-post delle due parti e risulta sicuramente più importante esaminando questo arco temporale più disteso. Il progetto ha dunque inciso in particolar modo sull'*attitude* degli studenti verso le abilità pratiche (3), la conoscenza dei meccanismi di funzionamento (4) e le prospettive lavorative nel settore (9; 5).

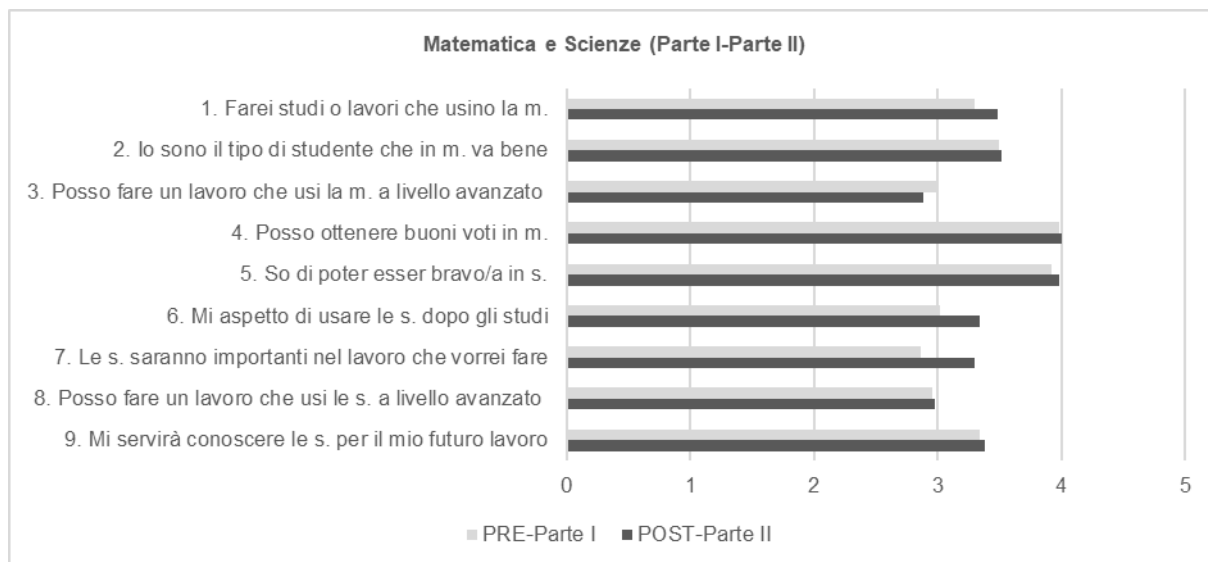
Il Graf. 17 rivela infine gli esiti del confronto pre-Parte I e post-Parte II relativo all'ambito matematico-scientifico. Nello specifico, le principali aree di sviluppo coincidono con quelle evidenziate nel pre-post Parte I e sono legate prevalentemente alle scienze e, solo parzialmente, alla matematica: (7) Le scienze saranno importanti nel lavoro che vorrei fare [+15,48%], (6) Mi aspetto di usare le scienze dopo gli studi [+10,60%] e (1) Farei studi o lavori che usino la matematica [+5,45%]. Non rileviamo infatti consistenti margini di crescita per gli altri item inerenti alla matematica (2; 3; 4), contrariamente a quanto riportato nel pre-post Parte II. Ciò può essere ricondotto alla graduale complessità che caratterizza la disciplina matematica sperimentata dagli alunni nel cambio di annualità e soprattutto di grado scolastico. Tuttavia, seppur i valori inferiori di *attitude* si confermano verso l'utilizzo delle discipline a livello avanzato (3; 8), gli studenti esprimono la volontà di fare studi o lavori attinenti ad entrambi i settori. I valori più marcati di *attitude* si riconducono invece alle aree (4) Posso ottenere buoni voti in matematica (pre-Parte I: 3,98; post-Parte II: 4) e (5) So di poter esser bravo/a in scienze (pre-Parte I: 3,92; post-Parte II: 3,98), coerentemente ai pre-post delle due parti.



Graf. 15 – Q1-abilità del XXI secolo (pre-Parte I - post-Parte II).



Graf. 16 – Q1-Ingegneria e Tecnologia (pre-Parte I - post-Parte II).



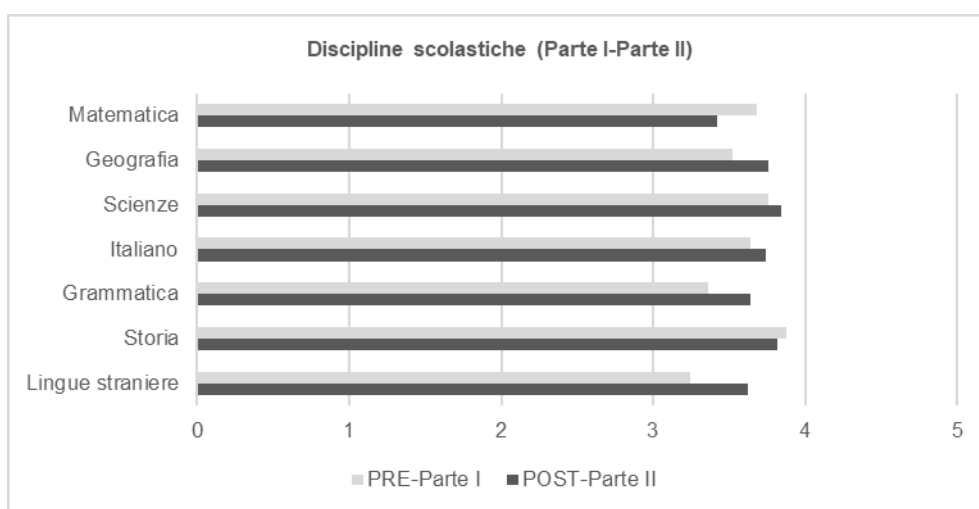
Graf. 17 – Q1-Matematica e Scienze (pre-Parte I – post-Parte II).

Infine, esaminando i confronti pre-Parte I e post-Parte II relativi al Q2, osserviamo un simile intervallo di incremento per entrambi i costrutti indagati: discipline scolastiche [+3,07%] e abilità per apprendimento autoregolato [+3,08%].

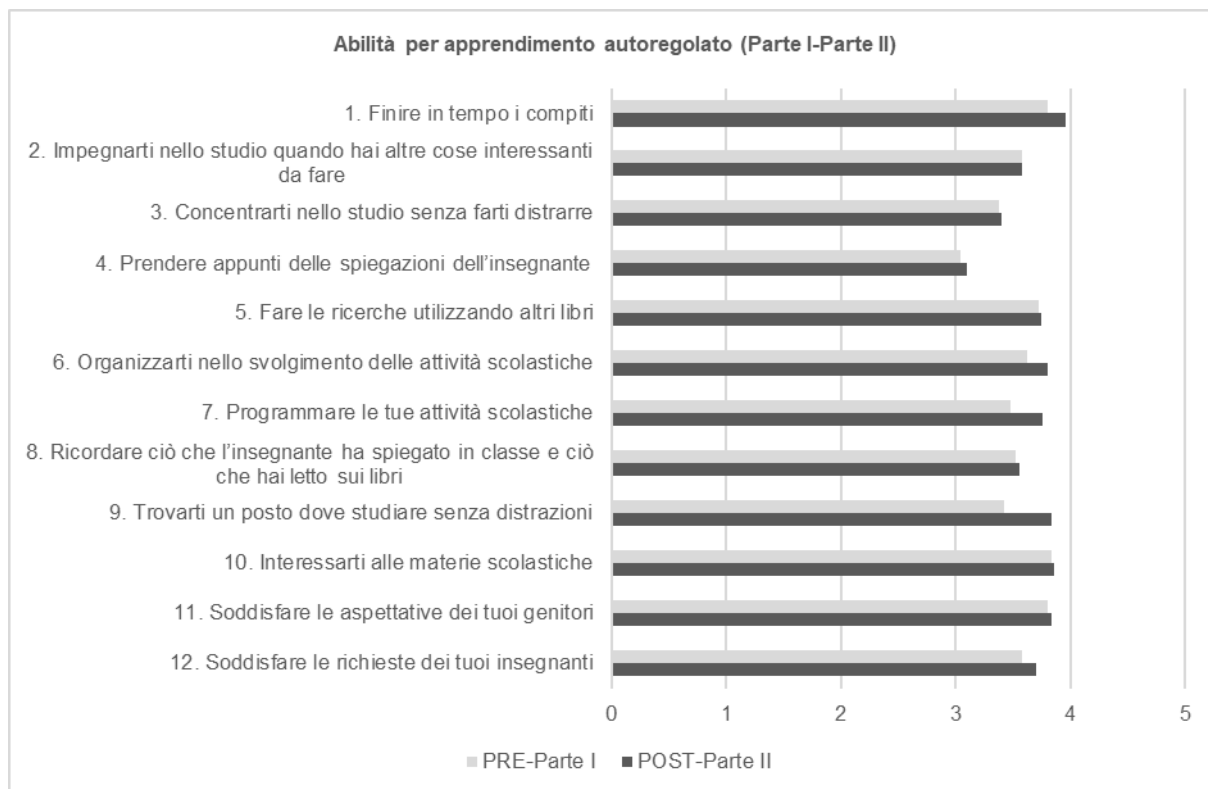
Per quanto concerne il primo costrutto, il Graf. 18 mostra un considerevole aumento dell'autoefficacia percepita verso la maggior parte delle discipline, ad eccezione di matematica e storia che risultano leggermente in regressione. Tale esito si può associare a quanto già verificatosi per l'*attitude* verso l'area matematica indagata nel Q1. Infatti, seppur in entrambi i confronti pre-post Parte I e Parte II si rileva un aumento di tutte le discipline scolastiche, compresa la matematica, adottando uno sguardo più ampio su tutta la durata del progetto non si riesce ad apprezzare il progresso nelle due discipline citate, contrariamente a quanto avviene nei singoli confronti. Tuttavia, constatiamo degli ottimi range di crescita, soprattutto per le lingue straniere [+11,73%], la grammatica [+8,33%] e la geografia [+6,82%]. I punteggi più elevati sono invece attribuibili alle scienze (pre-Parte I: 3,76; post-Parte II: 3,84), all'italiano (pre-Parte I: 3,64; post-Parte II: 3,74) e alla geografia (pre-Parte I: 3,36; post-Parte II: 3,64).

Infine, in merito alle abilità per l'apprendimento autoregolato, si rileva uno sviluppo dell'autoefficacia percepita verso tutte le aree (vedi Graf. 19). Le abilità con maggior margine di crescita sono: (9) Trovarti un posto dove studiare senza distrazioni [+12,28%], (7) Programmare le tue attività scolastiche [+8,05%], (6) Organizzarti nello svolgimento delle attività scolastiche [+4,97%] e (1) Finire in tempo i compiti

[+4,21%]. Permangono inoltre, in maniera più o meno stazionaria, valori elevati di autoefficacia percepita relativi all'interessarsi alle materie scolastiche (1), al fare ricerche utilizzando varie fonti (5) e al soddisfare le aspettative dei propri genitori (11). In ultimo, osserviamo un incremento anche per gli item riguardanti il concentrarsi (3), il prendere appunti (4) e il ricordare quanto ascoltato/letto (8), che nel pre-Parte I presentavano i punteggi più bassi. L'autoefficacia percepita verso le abilità utili ad un apprendimento autoregolato appare, nel complesso, sicuramente migliorata. Ai fini della ricerca, è rilevante porre l'accento in particolar modo sullo sviluppo dell'autoefficacia verso la programmazione e l'organizzazione delle attività, nonché verso la gestione del tempo per le consegne e la concentrazione e l'impegno nello studio.



Graf. 18 – Q2-Discipline scolastiche (pre-Parte I - post-Parte II).



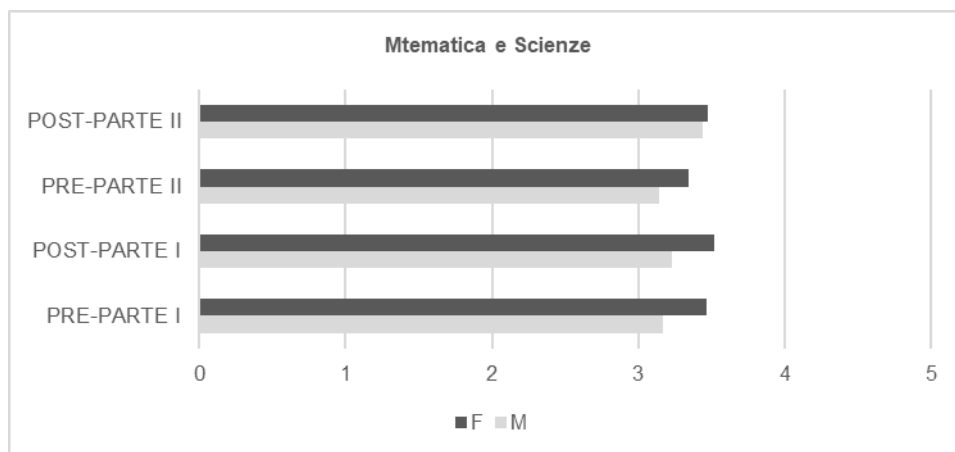
Graf. 19 – Q2-Abilità per apprendimento autoregolato (pre-Parte I - post-Parte II).

1.4. Genere

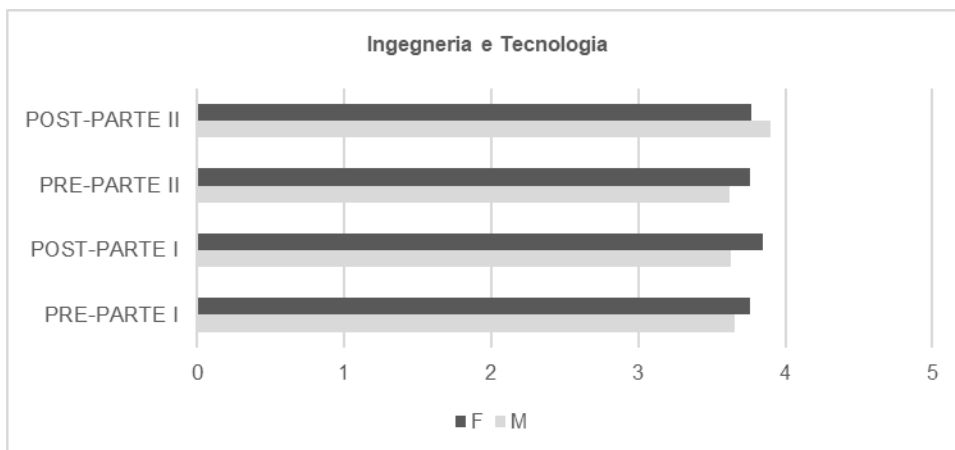
Come anticipato nel capitolo 2, par. 3.1.5., il rapporto tra discipline STEM e divario di genere è attualmente una questione molto dibattuta. In particolare, molti ricercatori hanno evidenziato i pregiudizi e gli stereotipi derivanti da retaggi culturali e le conseguenti disparità di genere nell'accesso e/o nel perseguimento di studi e carriere nei settori tecnici e scientifici (Sullivan & Bers, 2016; Schön *et al.*, 2020; Schneegans, Lewis, & Straza, 2021; Bagattini, Miorri, & Operto, 2021). Abbiamo dunque ritenuto utile analizzare i dati inerenti all'*attitude* e all'autoefficacia ponendo a confronto i due sotto-campioni femminile e maschile. Nonostante la limitatezza del campione in termini numerici, esso presenta infatti un ragionevole equilibrio tra le due parti: F: 54%; M: 46%.

I Graf. 20, 21 e 22 pongono a confronto le medie complessive relative alle quattro aree indagate da Q1 nei quattro diversi momenti di somministrazione (pre-Parte I, post-Parte I, pre-Parte II, post-Parte II) per entrambi i sessi. Per l'area di matematica e scienze abbiamo mantenuto la stessa selezione degli item presentata nei paragrafi

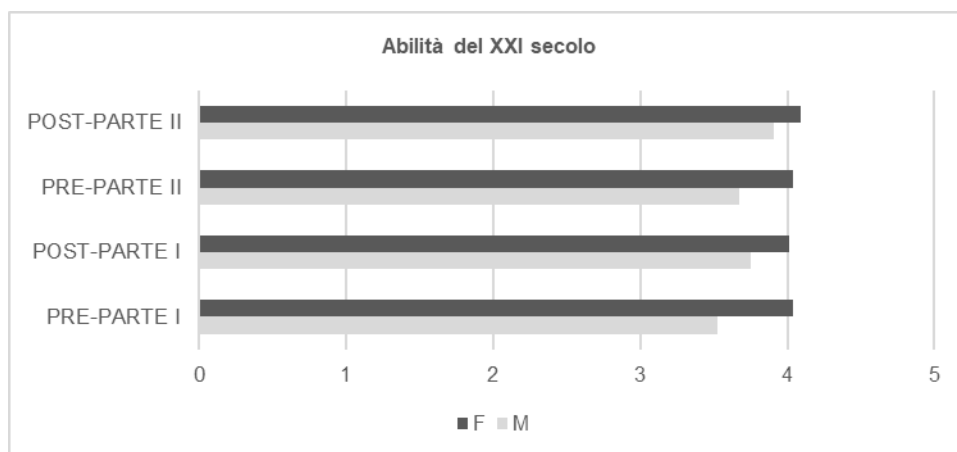
precedenti. Osservando i grafici, notiamo con evidenza come le studentesse mostrino un'attitude complessiva superiore a quella degli studenti praticamente in tutte le aree e in tutte le somministrazioni di Q1, ad eccezione del post-Parte II dell'area ingegneria e tecnologia. Osserviamo inoltre che i divari più ampi emergono dall'area delle abilità del XXI secolo, mentre complessivamente i dislivelli di tutte le aree tendono a ridursi nell'ultima somministrazione.



Graf. 20 – Confronto F-M, Q1-Ingegneria e Tecnologia.

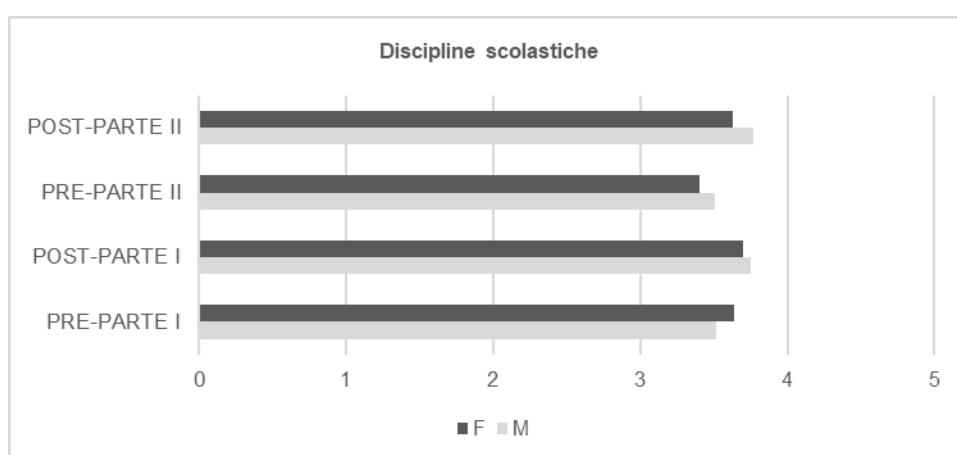


Graf. 21 – Confronto F-M, Q1-Ingegneria e Tecnologia.

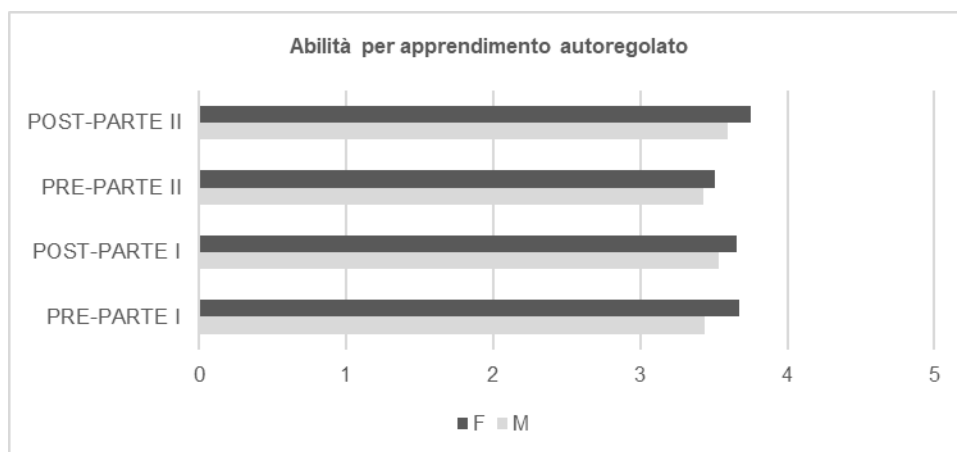


Graf. 22 – Confronto F-M, Q1-Abilità del XXI secolo.

Spostando l'attenzione sull'autoefficacia scolastica percepita (Q2), il Graf. 24, relativo alle abilità per l'apprendimento autoregolato, conferma quanto emerso dal Q1 rispetto alle abilità del XXI secolo. Le studentesse mostrano complessivamente una maggiore autoefficacia rispetto a tali abilità, anche se il divario non risulta accentuato come in Q1. Diverso è invece l'esito del confronto relativo alle discipline scolastiche (vedi Graf. 23) dove, eccetto per la prima somministrazione, troviamo dei valori medi di autoefficacia leggermente superiori per il sotto-campione maschile. Tali dati, seppure riferiti come premesso ad un campione ristretto, ci inducono a riflettere sulle convinzioni radicate più o meno implicitamente attorno ai settori scientifico-tecnologici e alle propensioni e vocazioni legate al genere dei nostri allievi fin dalla più tenera età.



Graf. 23 – Confronto F-M, Q2-Discipline scolastiche.



Graf. 24 – Confronto F-M, Q2-Abilità per apprendimento autoregolato.

2. Diari di bordo

I diari di bordo degli studenti costituiscono uno degli strumenti chiave del progetto, non solo per la raccolta di dati qualitativi, ma in primo luogo per supportare i processi ricorsivi di progettazione e autovalutazione degli studenti. Il diario di bordo, illustrato in Appendice C, ha rappresentato infatti una costante del progetto, in entrambe le parti e per tutte le attività proposte. Rispetto alle singole sfide, la compilazione è avvenuta in tre momenti principali: (1) subito dopo la presentazione della sfida e il lancio dell'attività, per prendere appunti e realizzare bozze iniziali del progetto, (2) in fase di svolgimento e testing, per annotare dati e osservazioni utili, e (3) subito dopo la restituzione finale, per riflettere su quanto esperito tramite l'apposita scheda di autovalutazione. A seconda della sfida, la progettazione iniziale poteva variare tra disegno/schizzo dell'artefatto da realizzare (modellino LEGO, logo 3D, gioco da tavola, stanza virtuale, ecc.), rappresentazione grafica del progetto di miglioramento con bozza della versione prima e dopo l'intervento o eventuali ipotesi pre-testing.

I campi indagati attraverso la scheda autovalutativa afferiscono invece alle tre aree di competenza interconnesse, delineate nell'European Framework “*Life Comp*” del 2020 (Sala *et al.*, 2020):

- personale: autoregolazione, flessibilità, benessere;
- sociale: empatia, comunicazione, collaborazione;
- imparare ad imparare: crescita, pensiero critico, gestione dell'apprendimento.

Nello specifico, all'area personale possiamo ricondurre le domande [5; 9], all'area sociale le domande [4; 6; 7] e all'area imparare ad imparare le domande [1; 2; 3; 8; 9].

Di seguito vengono discussi i dati derivanti dalle schede autovalutative di ogni obiettivo trattato. Per ragioni di sintesi, le attività/sfide relative a ciascun obiettivo saranno abbreviate in A1, A2, ecc.

Per quanto concerne il primo obiettivo affrontato (*Goal 7*), gli alunni hanno approfondito le energie rinnovabili attraverso esperimenti con kit di elettricità (A1), costruzione di modellini con i kit LEGO (A2) e costruzione di artefatti tramite materiali di riciclo e kit LEGO (A3). In A1 i valori più bassi emergono dalle aree di utilizzo delle informazioni e dei materiali (A1-2: 2,90/4), verifica e miglioramento della soluzione (A1-5: 2,95/4) e comunicazione chiara delle idee agli altri gruppi (A1-6: 2,95/4). Tuttavia, questi valori tendono ad aumentare nelle attività successive: utilizzo informazioni e materiali (A2-2: 3,27; A3-2: 3,32), verifica e miglioramento (A2-5: 3,11; A3-5: 3), comunicazione delle idee (A2-6: 3,11; A3-6: 3,24). Notiamo, invece, una leggera diminuzione nell'area del lavoro di gruppo (A1-4: 3,78; A2-4: 3,53; A3-4: 3,53). Ciò può ricondursi alla maggiore natura collaborativa di A2 e A3, che ha portato gli studenti ad assumere ruoli specifici e a dover negoziare maggiormente con i compagni per costruire l'artefatto condiviso. Tutte le attività hanno ottenuto quasi la massima votazione in termini di gradimento (A1-9: 3,92; A2-9: 3,91; A3-9: 3,94). Tra le ragioni riportate dagli alunni a sostegno di questo apprezzamento troviamo: il lavoro di gruppo, il divertimento e l'interesse per gli esperimenti o le costruzioni collaborative e la novità (scoperta di nuovi strumenti e modi di lavorare/apprendere). Per quanto riguarda le intenzioni di miglioramento, gli alunni si riferiscono principalmente a: aspetti comunicativi, interazione di gruppo, uso più adeguato e creativo degli strumenti, contributo di nuove idee e invenzioni, gestione del tempo, dell'attenzione e delle emozioni.

In merito al *Goal 11*, gli studenti hanno apprezzato molto le tre fasi di ideazione (A1-9: 3,9), realizzazione (A2-9: 3,89) e promozione (A3-9: 4) di un progetto di miglioramento per una città *smart*. Per quanto concerne la fase di ideazione, possiamo evidenziare un'ottima comprensione della sfida (A1-1: 3,8) e un'elevata capacità di lavorare in gruppo (A1-4: 3,8). In particolare, l'abilità di comunicare le proprie idee si

attesta su un valore medio di 3,41. Nonostante ciò, tra gli obiettivi di miglioramento più frequenti troviamo: ascoltare di più, comunicare meglio le proprie idee, avere più idee da proporre. Tra le motivazioni di gradimento più interessanti riportiamo invece le seguenti riflessioni:

“Mi piace perché penso con la mia mente”;

“Mi piace lavorare, costruire, progettare e pensare usando la mia fantasia”;

“Perché ho ideato cose utili per il pianeta”;

“Mi è piaciuto fare il lavoro in gruppo e uscire per raccogliere le fonti”.

Gli aspetti sottolineati dagli alunni mettono in luce il bisogno di contribuire con le proprie idee e la propria fantasia all’ideazione di progetti utili, attivandosi in prima persona e coinvolgendo anche la realtà extra-scolastica. Nelle fasi di realizzazione del modellino con il kit LEGO e di promozione del progetto con *Thinglink*, troviamo valori positivi per quanto riguarda l’utilizzo di strumenti e materiali (A2-2: 3,84), il testing e il miglioramento della soluzione (A2-5: 3,53) e il controllo delle proprie emozioni nel confronto con gli altri (A3-7: 3,66). Tra i propositi futuri permane una migliore comunicazione con i membri del gruppo, mentre tra le ragioni di gradimento evidenziamo la possibilità di costruire e di lavorare in gruppo, l’utilizzo della web app e la promozione di progetti rilevanti.

Il *Goal 15* ha stimolato particolarmente le abilità pratiche e creative degli alunni attraverso la costruzione di un modellino tramite kit LEGO (A1), la creazione di un logo e di un gadget tramite *TinkerCAD* e la stampante 3D (A2) e la realizzazione di un gioco da tavola arricchito con oggetti 3D e *Qr codes* (A3). Pur riscontrando valori elevati in tutti i campi indagati, in A1 notiamo punteggi leggermente inferiori per le aree relative all’utilizzo di strumenti e informazioni (A1-2: 3,52) e al testing e miglioramento della soluzione (A1-5: 3,33). Tali aspetti risultavano infatti particolarmente rilevanti per le attività di coding e RE proposte, in cui gli studenti erano spinti, di obiettivo in obiettivo, a sperimentare più funzionalità e pezzi speciali del kit, creando quindi codici via via più complessi. Ciò ha comportato anche maggiori sfide, tentativi falliti e necessarie modifiche da parte degli studenti. Inoltre, nel corso del progetto, abbiamo progressivamente ridotto lo scaffolding fornito tramite guide e istruzioni in app,

invitando gli alunni a partire da meccanismi e funzioni apprese per creare modelli sempre più originali e personalizzati. Gli intenti di miglioramento sono infatti prevalentemente legati ad un utilizzo migliore degli strumenti e al perfezionamento della costruzione. Il gradimento dell'attività risulta però massimo e anche in questo caso troviamo motivazioni degne di nota:

“Perché è bello costruire delle cose sapendo che potrebbero salvare delle vite”;

“Perché sono problemi che riguardano il paese in cui vivo e la natura”;

“Perché costruisco”;

“Perché mi diverto a creare con il mio gruppo”;

“Perché ho trovato un nuovo modo per utilizzare il motore”;

“Perché io sono appassionata di queste cose”;

“Perché non solo ho imparato ma ho anche insegnato”.

I pensieri riportati aprono a molti spunti di riflessione. Si evidenzia infatti la rilevanza del richiamo al proprio contesto di vita e a tematiche di loro interesse, il piacere e il divertimento legato all'attività pratica di costruzione e alla possibilità di sperimentare nuovi utilizzi degli strumenti e, in ultimo, ma forse al primo posto per valore, la possibilità di assumere la duplice veste di alunno e tutor/formatore, favorita dalla modalità collaborativa di svolgimento dell'attività. Anche in A2 abbiamo sfidato gli alunni ad un utilizzo più approfondito di *TinkerCAD* e troviamo pertanto simili valori relativi alle due aree citate (A2-2: 3,58; A2-5: 3,37). Emerge inoltre un punteggio leggermente inferiore nell'area della chiarezza comunicativa (A1-6: 3,47; A2-6: 3,26) e della capacità di lavorare bene in gruppo (A1-4: 3,63; A2-4: 3,56). Gli studenti affermano di voler migliorare principalmente le abilità tecniche di utilizzo del software e la capacità di comunicare le proprie idee e di coinvolgere gli altri membri del gruppo o di lasciare loro più spazio. Questo ultimo dato può ricondursi alla gestione dei turni richiesta per l'utilizzo di *TinkerCAD*. Infatti, mentre per le attività di coding e robotica erano previsti ruoli specifici, scambiati di volta in volta, per questa sfida si richiedeva agli alunni di contribuire equamente all'ideazione e alla rappresentazione 3D sul software, autogestendosi all'interno del gruppo. Non sono dunque mancati casi in cui un alunno risultasse preponderante rispetto agli altri. L'attività ha riscosso un gradimento

medio di 3,89 e le ragioni a sostegno vertono, oltre che sull'utilizzo di nuovi strumenti, sulla natura creativa della sfida e soprattutto sulla possibilità di veder concretizzate le proprie creazioni.

“Perché è stata una sfida creativa”;

“Perché abbiamo lavorato con allegria utilizzando e sperimentando cose nuove”;

“Perché ho creato una *mia* cosa con la stampante 3D”;

“Perché abbiamo creato un *nostro* logo”;

“Perché usare la stampante 3D per creare un logo della *mia* regione è stato bello”;

“Perché è stato bello creare dei gadget che siano *nostri*”.

Tali osservazioni sostengono quindi uno dei punti di forza riconosciuti alla *Maker Education*, ossia la spinta alla creatività e all'autorialità degli alunni (Bosco, Santiveri & Tesconi, 2019). Tutte le aree citate per A1 e A2 trovano un miglioramento nella A3, che ha favorito un lavoro di gruppo più efficace (A3-4: 3,83), un buon utilizzo di strumenti e informazioni (A3-2: 3,61) e una buona capacità comunicativa (A3-6: 3,54) e di controllo delle emozioni nel confronto con gli altri (A3-7: 3,52). I propositi di miglioramento risultano però ancora legati alla sfera comunicativa e di ascolto. Similmente alla A2, gli alunni hanno apprezzato la natura divertente, pratica e creativa della sfida e la possibilità di essere autori e creatori dell'artefatto, utilizzato poi nella fase finale di gioco. Essi hanno inoltre messo in risalto maggiormente l'opportunità e il piacere di lavorare in gruppo.

Passando alla seconda parte del progetto, il primo obiettivo affrontato (*Goal 3*) mostra un leggero calo dell'autovalutazione relativa alla capacità di comunicare le proprie idee e di gestire le emozioni nel confronto (A1-6: 3,07; A1-7: 3,16; A2-6: 3,13; A2-7: 3,27). Pur essendo comunque elevati, i valori appaiono infatti inferiori rispetto alla Parte I e ciò può ricondursi ai cambiamenti relazionali generati dal cambio annualità nei nuovi contesti classe. In A1, gli studenti dichiarano di voler migliorare soprattutto nelle abilità di interazione e collaborazione, ma anche in quelle di progettazione e ideazione, affinché il progetto risulti più originale e creativo. Dalle riflessioni finali emergono ulteriori dati circa il punto di vista degli studenti rispetto alle attività proposte. Infatti, oltre alla già citata possibilità di scoprire cose nuove, essi

hanno colto e apprezzato l'interdisciplinarietà delle sfide nonché l'opportunità di esprimersi e di "mettere in pratica" le proprie idee e conoscenze per un fine utile e concreto, anziché relegarle alla mera esposizione in fase di interrogazione o compito scritto.

"Mi è piaciuta questa attività perché ho scoperto cose nuove";

"Perché ho mischiato le scienze con la tecnologia";

"Perché ci siamo espressi, abbiamo tirato fuori le nostre idee";

"Perché bisognava mettere in atto tutte le informazioni che sapevamo per costruire il progetto".

Gli studenti mostrano ancora una volta un ampio gradimento delle attività (A1-9: 3,89; A2-9: 3,97), con un'attenzione particolare alla A2. Infatti, dopo aver rappresentato tramite kit LEGO la funzione dell'apparato scelto o la composizione e le proprietà di materia e sostanze (A1), la A2 sfidava gli alunni nel creare un Sapientino per sensibilizzare su comportamenti benefici e nocivi utilizzando il meccanismo del circuito aperto e chiuso. Gli allievi hanno espresso interesse anche per questo tipo di strumenti *low-tech* e soddisfazione per aver usato ancora una volta conoscenze scientifiche e tecnologiche per produrre un artefatto funzionale. I propositi sono rivolti in questo caso ad una gestione del tempo più efficiente e ad una migliore esposizione e postura collaborativa (es. lasciar fare più cose al compagno, aiutare un po' di più nel gruppo).

Nell'obiettivo successivo, *Goal 13*, notiamo un miglioramento delle aree sopra menzionate (A1-6: 3,48; A1-7: 3,32; A2-6: 3,35; A2-7: 3,41). Per la A1, riguardante la costruzione del modello LEGO, riportiamo anche un buon utilizzo degli strumenti (A1-2: 3,63), in aumento rispetto alla A1 dell'obiettivo precedente, e un buon testing e perfezionamento della soluzione (A1-5: 3,25). Anche il lavoro in gruppo ha riscontri positivi con un punteggio medio di 3,59. Questo obiettivo ci pone di fronte a nuove consapevolezze da parte degli studenti. In particolare, alcuni studenti rivelano di aver incontrato difficoltà in fase di costruzione e si propongono di migliorare nell'affrontarle, impegnandosi a trovare nuove strade per non rimanere "bloccati" (Martinez & Stager, 2013). Tale aspetto è un ulteriore elemento chiave della didattica maker e delle attività di coding e RE, poiché impatta sulla percezione dell'errore da parte dello studente e

quindi sulla sua autostima, motivazione e capacità di problem-solving (Kurti, Kurti, & Fleming, 2014a; Cesaro & Monti, 2021). Il gradimento (A1-9: 3,91) è legato, come per il *Goal 11*, all'opportunità di far uso delle tecnologie per risolvere problemi rilevanti per il proprio territorio e, in una prospettiva più ampia, per l'intero pianeta.

“Mi è piaciuto utilizzare la tecnologia lavorando con le mie amiche per risolvere i problemi dell'Agenda 2030”;

“Perché l'argomento per cui abbiamo trovato una soluzione è molto importante e saper trovare una soluzione a quel problema è altrettanto importante!”;

“Perché dovevamo testare una soluzione per delle problematiche che riguardano il *nostro* territorio e anche perché creare il meccanismo è stato molto divertente”.

La A2 ha poi invitato nuovamente gli studenti a creare un Sapientino, reso questa volta più interattivo grazie all'utilizzo del kit *Makey Makey* e di *Scratch 3.0*. In questo caso, il lavoro di gruppo si conferma prevalentemente positivo (A2-4: 3,53) e gli studenti appaiono più concentrati sulle capacità di organizzazione del tempo e sul miglioramento tecnico/grafico dell'artefatto. Sempre a fronte della maggiore consapevolezza via via acquisita, i loro propositi diventano inoltre più specifici e contestualizzati:

“Dovrei ottimizzare il tempo e stare più attenta all'audio del progetto. Per migliorare dovrei velocizzarmi e pensare alle cose più importanti”;

“Potrei migliorare la mia soluzione provando più volte qualche idea mia e dei miei compagni”;

“Potrei migliorare nell'aggiungere più effetti come il suono e i movimenti”.

Infine, l'elevato gradimento riscosso (A2-9: 3,94) è motivato principalmente dall'utilizzo del nuovo kit, ritenuto particolarmente stimolante ed interessante, che ha permesso di esplorare maggiormente l'argomento in modo innovativo e divertente.

L'ultimo obiettivo affrontato (*Goal 14*) ha condotto gli studenti a creare ed esplorare un ambiente virtuale. Le due fasi sono state considerate come un'unica macro-attività che ha ottenuto il massimo gradimento. Gli studenti hanno infatti apprezzato la

possibilità di creare “stanze” personalizzate e interattive e l’utilizzo dei software per la programmazione e la creazione delle stesse. Non da meno, la possibilità di esplorare e scoprire gli ambienti realizzati dai compagni tramite i visori ha inciso fortemente sul coinvolgimento attivo degli studenti.

“Perché è stato bellissimo scoprire i temi degli altri con i visori”;

“Perché utilizzare cose innovative e elettroniche per creare qualcosa è bellissimo”;

“Perché ho usato una nuova app e ho lavorato su un argomento che mi piace molto”;

“Perché è bello creare progetti”;

“Perché è bello lavorare insieme con nuovi programmi per programmare ambienti”.

In linea con il precedente obiettivo, le proposte di miglioramento, più che alla comunicazione delle proprie idee o alla migliore collaborazione nel gruppo, sono orientate all’approfondire i contenuti e le risorse integrate e al gestire ancor più efficacemente i tempi. Nello specifico, emergono autovalutazioni molto positive rispetto all’utilizzo degli strumenti (A1-2: 3,62), al lavorare bene in gruppo (A1-4: 3,55), al comunicare le proprie idee (A1-6: 3,42) e al controllare le proprie emozioni (A1-7: 3,37).

Per quanto concerne i campi relativi alla comprensione e risoluzione della sfida, tutti gli obiettivi hanno ottenuto punteggi medi molto positivi. I valori più elevati risultano per il *Goal 11* (A1-1: 3,8; A1-3: 3,83; A2-1: 3,95; A2-3: 3,79; A3-1: 4; A3-3: 3,83) e il *Goal 14* (A1-1: 3,95; A1-3: 3,86). Valori leggermente inferiori emergono, invece, dalle attività di RE o da quella di rappresentazione 3D con *TinkerCAD*, in cui la risoluzione delle sfide richiedeva di fronteggiare difficoltà inerenti al funzionamento dei dispositivi e alla corretta costruzione di codici.

3. Focus group

L’analisi del focus group condotto al termine della Parte I è stata perseguita assumendo come riferimento le linee guida delineate in Krueger e Casey (2015) e Krueger (2002). Krueger e Casey (2015) descrivono l’analisi dei focus group come un processo deliberato e mirato fondato su quattro qualità fondamentali:

- sistematicità: un'analisi sistematica segue un processo predefinito e sequenziale, anziché arbitrario e spontaneo. Il protocollo sistematico consente di evitare di commettere errori o di trascurare fattori critici, garantendo la corrispondenza tra i risultati e ciò che viene condiviso nei gruppi. La strategia di analisi è trasparente, documentata e chiaramente articolata;
- verificabilità: l'analisi è verificabile se vi sono dati sufficienti a costituire una traccia di evidenza. Ciò permette di salvaguardare l'oggettività della procedura e quindi di evitare una percezione selettiva, data dal nostro punto di vista o dal nostro background;
- sequenzialità: l'analisi è un processo sequenziale, un processo evolutivo di "illuminazione". Una buona analisi inizia con una buona base di pianificazione, reclutamento, domande e moderazione. La sequenza di analisi continua dopo il focus group con un *debriefing* immediato con il moderatore e l'assistente moderatore;
- consequenzialità: una differenza distintiva tra l'analisi dei focus group e l'analisi quantitativa consiste nel momento di avvio dell'analisi. Infatti, mentre negli studi quantitativi vi è una chiara distinzione tra la fase di raccolta e quella di analisi, al contrario, nei focus group la raccolta e l'analisi dei dati sono contemporanee. Condurre l'analisi man mano che si procede migliora la qualità dei dati raccolti nei focus group.

L'analisi può basarsi su diverse forme di acquisizione dei dati: trascrizioni complete, trascrizioni abbreviate, appunti e memoria. Ogni forma fornisce un diverso livello di specificità, dettaglio e completezza. Nel caso in oggetto, l'analisi si è basata sulla trascrizione abbreviata. Quest'ultima è leggermente meno dispendiosa in termini di tempo rispetto alla strategia basata sulla trascrizione completa. Essa si basa sull'ascolto della registrazione audio del focus group e sull'elaborazione di una trascrizione delle parti rilevanti e utili della discussione. L'introduzione, le indicazioni superflue del moderatore e i commenti che non afferiscono direttamente allo scopo dello studio non vengono trascritti. Pertanto, solo chi conosce a fondo lo scopo dello studio può elaborare una trascrizione abbreviata.

Seguendo poi gli step descritti in Krueger (2002), entro pochi giorni dal focus group, l'analisi si è strutturata sui seguenti passaggi:

- ricercare i temi emergenti per domanda e poi nel complesso;
- costruire tipologie o diagrammi dell'analisi;
- descrivere i risultati e utilizzare le citazioni per illustrarli.

Infine, abbiamo prodotto una relazione privilegiando la forma narrativa e strutturandola attorno ai temi salienti. Il rapporto è stato condiviso con altri ricercatori per la fase di verifica ed è stato quindi finalizzato.

I risultati sono solitamente organizzati intorno a domande chiave, temi o grandi idee. Lo stile convenzionale consiste nell'analizzare le domande in sequenza. Tuttavia, il limite di tale stile è quello di iniziare con le informazioni meno rilevanti e di riportare informazioni spesso ridondanti, poiché gli stessi temi compaiono in diverse domande. Per questo motivo, Krueger e Casey (2015) suggeriscono di considerare l'organizzazione per temi e di presentare direttamente i punti più utili per il lettore.

Una volta classificati i dati, il ricercatore inizia a riflettere su una serie di aspetti rilevanti, quali: frequenza (quanto spesso è stato menzionato un concetto?), estensione (quante persone hanno menzionato il concetto?), intensità (quanta passione o intensità c'era nell'intervento?), specificità (quanti dettagli sono stati forniti dagli intervistati?), coerenza interna (i singoli partecipanti sono rimasti coerenti con le loro opinioni?), percezione dell'importanza dei partecipanti (i partecipanti hanno citato questo concetto come importante?). Il rapporto analitico è indubbiamente influenzato dallo scopo dello studio. Ciò potrebbe dunque comportare una disposizione dei concetti in ordine decrescente in base ai fattori analitici sopra menzionati oppure documentare come le opinioni cambiano nel corso della conversazione, e così via.

Nel caso in esame, il focus group aveva lo scopo di indagare: (1) la sostenibilità della proposta; (2) i suoi principali limiti ed effetti positivi, soprattutto rispetto alla valutazione delle competenze (2.1) e al miglioramento della visione delle STEM (2.2); (3) i cambiamenti nell'approccio dei docenti e nel loro insegnamento quotidiano; (4) i possibili miglioramenti della proposta. Le differenti questioni sono state organizzate in dieci domande (vedi capitolo 3, par. 4.3. e Appendice E), suddivise secondo le cinque

categorie evidenziate da Krueger e Casey (2015): di apertura [1], introduttiva [2], di transizione [3, 4], chiave [5, 6, 7, 8, 9], conclusiva [10].

Il gruppo, disposto in maniera circolare, era composto da cinque partecipanti: un moderatore, che ha condotto la discussione attraverso il protocollo di domande riportate in Appendice E, un assistente moderatore, con il compito di monitorare la discussione e prendere appunti, e le tre insegnanti I1, I2 e I3, coinvolte nella prima parte del progetto. Tutti i componenti hanno fornito il loro consenso per la registrazione audio e video della discussione, che ha avuto una durata complessiva di un'ora e quindici minuti.

Il primo tema indagato, considerato tra i più rilevanti ai fini della ricerca, è stato quello riguardante la sostenibilità della proposta (1). Le insegnanti l'hanno ritenuta complessivamente sostenibile ad unanimità, in particolar modo grazie all'orario settimanale dedicatovi, all'inclusività e all'accurata progettazione iniziale e scansione delle attività che ha generato delle preziose routine per gli studenti. L'I3 ha però rilevato una criticità in più rispetto alle altre due docenti, legata alla specificità della pluriclasse.

I1: «L'ho trovato molto interessante e attuabile, molto pratico e al tempo stesso accattivante per i bambini. Lavorare in gruppo è stato molto interessante e questa modalità è molto richiesta oggi. [...] Per me è stato positivo e sostenibile, anche a livello di orario».

I3: «La difficoltà che ho avuto avendo delle pluriclassi è stata quella di centrare la programmazione in entrambe le classi, senza allontanarmi troppo dai programmi delle classi parallele dell'istituto. [...] Ho apprezzato tantissimo il fatto che tutte le attività fossero stabilite e organizzate. Questo secondo me è stato fondamentale per gli alunni. Essendoci una routine nella presentazione delle attività, loro sono diventati anche abbastanza autonomi sia nella fase progettuale che nella fase di autovalutazione, [...] sono diventati veramente più competenti rispetto all'inizio. [...] L'ho trovato sostenibile anche per la sua inclusività. Un lavoro che ha coinvolto coloro che di solito rimangono più "in ombra" in classe e ha dato la possibilità a tutti di esprimersi maggiormente, permettendo un salto di qualità rispetto al semplice lavoro di gruppo».

Il tema chiave della sostenibilità può essere ulteriormente definito analizzando il tema successivo, fortemente connesso ad esso, inerente ai limiti e alle ricadute positive della proposta (2). I docenti si sono mostrati concordi nell'individuare come principale criticità la gestione dei tempi. Nello specifico, ritengono necessario dedicare più tempo alla fase di condivisione finale tra gruppi e di autovalutazione individuale sul proprio diario di bordo, spesso assegnata per casa per carenza di tempo.

I3: «Un aspetto critico è quello dei tempi. Ad esempio, per il momento del “tirare le somme” per l'autovalutazione sarebbe stato secondo me necessario un tempo più disteso; a volte gli studenti erano frettolosi nel compilare il questionario di autovalutazione e il mio timore era che qualcuno lo facesse in maniera superficiale. Inoltre, a volte veniva penalizzato il momento della presentazione finale, che ritengo fondamentale in quanto la condivisione comporta la capacità di comunicare il lavoro svolto insieme. Era un momento in cui noi insegnanti potevamo osservare gli aspetti che nel gruppo non sempre coglievamo, non riuscendo a monitorare tutti contemporaneamente».

I1: «Alla fine della condivisione, per i bambini non c'era sempre disponibilità di tempo per esprimersi. [...] A volte vedevo che avevano interesse e desiderio di intervenire, ma spesso dovevamo interrompere per il suono della campanella. Poi penso sia necessario anche dedicare più tempo all'autovalutazione sul diario di bordo, che spesso abbiamo assegnato per casa. È importante perché gli alunni non sempre riescono a capire bene come sono arrivati a quel risultato finale; magari lo sanno ma non riescono ancora a spiegare e argomentare come, quale processo hanno attivato per arrivare lì».

I2: «Come hanno detto le colleghe, una criticità emersa è quella del tempo. Dovremmo dare più spazio alla parte finale della riflessione sul lavoro fatto. Raccontare il processo a parole e doverlo presentare permette di superare l'ansia da presentazione in pubblico. È una fase molto importante ed è necessario dedicarvi il tempo adeguato».

I1 e I2 identificano inoltre come ulteriore limitazione la gestione dello spazio, sia per le difficoltà logistiche aggravate dalle misure emergenziali, sia per l'utilizzo dello stesso

ambiente di apprendimento dedicato alla didattica quotidiana. A ciò si aggiungono i problemi tecnici, evidenziati da I1, legati alla disponibilità o al funzionamento degli strumenti di supporto, come connessione Wi-Fi, LIM, computer o tablet. I3 espone invece una difficoltà sperimentata in prima persona nel creare gruppi funzionali ed equilibrati.

I3: «Forse sarebbe necessario riflettere maggiormente sul lavoro di gruppo. A volte io ho avuto difficoltà nell'aiutare i componenti del gruppo a lavorare insieme, visto che questa non è una capacità da dare per scontata. Avendo un contesto molto eterogeneo, mi sono resa conto che la composizione dei gruppi è veramente fondamentale, perché quando c'è un elemento trainante che supporta chi ha più difficoltà è un conto, ma nel caso contrario la situazione è più complessa e la differenza tra i gruppi diventa molto evidente».

I1: «Una criticità riguarda la gestione del materiale e il setting. A volte i tablet o i computer non funzionavano e causavano rallentamenti. Volendo ritornare sul lavoro in un secondo momento, spesso non era possibile. Ho provato a proporre attività simili in autonomia ma è capitato che la disponibilità e il funzionamento degli strumenti di supporto rappresentassero una problematica. Inoltre, il fatto di lavorare sempre nella stessa stanza usata per la didattica di tutti i giorni può risultare poco stimolante, soprattutto per alcuni bambini».

Infine, un'ultima criticità rilevata concerne la condivisione e la collaborazione con i colleghi. Infatti, le docenti manifestano la volontà e la necessità di condividere tali percorsi, ma al contempo il timore di non trovare appoggio, a causa della scarsa formazione dei docenti sul tema e della distanza tra l'approccio sperimentato e la didattica tradizionale.

I2: «Secondo me questo percorso è ancora molto distante dall'idea di scuola radicata, associata al libro, al quaderno e alla lavagna. Si parla tanto di competenze ma poi si va avanti con le solite lezioni».

I3: «Quando poi ci confrontiamo con le colleghe, il modo di lavorare in classe è completamente diverso. Questo percorso privilegia un tipo di approccio che purtroppo o per fortuna non è quello tradizionale».

I1: «Io credo che collaborare con i colleghi sia uno stimolo; avere uno scambio di idee e un confronto è importante, però riferire l'esperienza ai colleghi senza che loro l'abbiano vissuta direttamente non sarà mai efficace come fargliela sperimentare in prima persona».

Accanto alle criticità, sono tuttavia emerse numerose ricadute positive. In generale, le insegnanti hanno apprezzato il coinvolgimento promosso dalla natura sfidante delle attività, soprattutto rispetto alle tematiche molto attuali e interdisciplinari trattate. Il evidenzia come tali attività, in grado di attivare in prima persona lo studente coinvolgendo anche realtà territoriali e altri contesti di vita, siano effettivamente carenti a scuola, ancor più in un periodo emergenziale come quello in atto. Similmente, I2 sottolinea la rilevanza delle abilità manuali/artigianali sollecitate per tradurre nella pratica quanto emerso a livello concettuale, anch'esse poco frequenti nella didattica quotidiana. Tutto ciò, ha generato un diffuso e “palpabile” entusiasmo tra gli alunni, come evidenziato dalle insegnanti.

I2: «Un aspetto che a me è piaciuto tantissimo è che il progetto non era centrato soltanto sulla riflessione o sulla progettazione ma anche sulla realizzazione manuale. Questo secondo me è importantissimo perché occorre valorizzare non solo quello che si mette in campo a livello concettuale ma anche a livello pratico. E questo aspetto si sta un po' perdendo».

I1: «Le proposte erano molto sfidanti e coinvolgenti per i bambini. E a loro la sfida è rimasta, ogni volta la aspettano e mi chiedono: “Maestra stamattina che facciamo di sfidante? Qual è la sfida?”. [...] Poi c'era anche l'interdisciplinarietà. Si affrontavano temi a loro vicini, come l'Agenda 2030 di cui si sente tanto parlare, ma affrontarla in questa maniera, ad esempio andando in giro per il paese a raccogliere fonti utili, è molto più coinvolgente. Per gli insegnanti simili proposte di attività sono spesso impensabili, soprattutto in una situazione come questa di distanziamento per il Covid-19. Sapendo tutti i vincoli, si è ancora più scoraggiati a presentarle, ma poi

con i giusti accorgimenti abbiamo visto che si riesce ad affrontarle comunque. [...] Il rapporto con il territorio è stato un punto di forza. Si dice sempre che la scuola deve aprirsi all'esterno e coinvolgere le realtà locali e in queste attività lo abbiamo fatto realmente. Anche collaborare con l'amministrazione comunale è uno stimolo in più per far conoscere la scuola».

I3: «L'entusiasmo ha fatto sì che gli studenti non vivessero l'attività come un compito. Erano spinti ad andare oltre».

I3 mette poi in luce il valore aggiunto delle tecnologie, per migliorare l'inclusione e lo sviluppo di abilità diversificate. Molto interessante è anche la riflessione sulla diversa prospettiva con cui gli alunni fruiscono e considerano la tecnologia, che diventa un mezzo per creare qualcosa attivamente e non uno strumento da utilizzare passivamente per altri scopi. Il rapporto attivo ed *embodied* con la tecnologia viene poi ripreso anche da I1 che, menzionando l'esperienza di stampa 3D, evidenzia l'opportunità di vedere reificati i passaggi svolti, dalla progettazione alla realizzazione dell'artefatto.

I3: «Le attività erano stimolantissime. I lavori di gruppo li abbiamo sempre fatti, ma il valore aggiunto in questo caso è stato proprio l'uso delle tecnologie perché per loro sono estremamente motivanti e permettono spesso di arrivare dove con altri strumenti non si arriva. [...] C'era la possibilità di mettere in campo diverse abilità e questo secondo me è stato veramente centrale [...]. Inoltre, un aspetto davvero importante riguarda il ruolo degli alunni, che di solito sono fruitori passivi delle tecnologie. Invece, grazie a queste attività, hanno scoperto che con la tecnologia si può creare. Oggi la tecnologia è vista spesso come un problema; il problema non è la tecnologia, ma l'uso che se ne fa».

I1: «Sicuramente un punto di forza enorme di questo percorso è che non si è limitato solo all'uso del computer o di un certo programma, ma al loro utilizzo per realizzare artefatti, anche partendo da competenze non sviluppate a pieno, spesso molto distanti da ciò che si associa alla tecnologia».

I1: «Con l'attività di stampa 3D hanno potuto vedere concretamente il percorso dalla progettazione alla realizzazione del prodotto».

Infine, tutte le docenti sono rimaste positivamente colpite dall'impatto della routine del confronto finale tra gruppi sulle capacità espositive, emotive e relazionali degli alunni. Questi ultimi, infatti, oltre ad esercitare le capacità di argomentazione, hanno lavorato sull'ansia del giudizio esterno e del parlare in pubblico, sul valutare criticamente il lavoro proprio e quello altrui, imparando ad esprimere e accettare pareri favorevoli e osservazioni critiche.

I1: «Positivo anche il fatto che nel momento della condivisione ognuno dovesse parlare, quindi si lavorava anche sull'aspetto espositivo e emotivo, sul superare l'ansia e l'insicurezza di essere giudicato e di parlare in pubblico. [...] Anche il fatto del valutare punti di forza e di debolezza di ogni progetto, quindi riflettere sul lavoro di un altro, è un aspetto critico e sfidante. Non si limitavano a presentare, ma imparavano anche ad accettare suggerimenti e critiche».

I3: «Una delle cose che mi piaceva di più era vedere gli alunni che osservavano il lavoro dei compagni ed esclamavano: "Che bello!". Questo secondo me è meraviglioso perché li educa a riconoscere non solo il proprio lavoro, ma anche quello degli altri e a farsi ispirare».

Le ricadute positive sono state analizzate anche in relazione al superamento delle difficoltà connesse alla valutazione delle competenze e al miglioramento della visione complessa delle discipline STEM.

Per quanto concerne il primo aspetto (2.1), le insegnanti considerano queste attività come "privilegiate" per osservare le competenze in evoluzione, da quelle disciplinari a quelle, soprattutto, trasversali. Grazie alla loro strutturazione, esse consentono infatti di mobilitare molte facce dell'apprendimento, che nelle attività tradizionali spesso non si riescono a stimolare ed apprezzare. Solitamente è difficile cogliere la competenza nel suo percorso di sviluppo, ma è come se la si scoprisse direttamente nel momento della verifica. Particolare è infatti il riferimento allo "stupore", menzionato dall'I2, per descrivere l'emozione provata da docente e studenti di fronte all'esplicitazione di una competenza.

I3: «Un altro aspetto che ritengo molto positivo è il fatto che in attività come queste risulta veramente naturale e utile sviluppare delle rubriche e osservare le competenze. Anche rispetto alla nuova valutazione della scuola primaria, queste attività permettono davvero di focalizzarsi su tutti gli aspetti dell'apprendimento, quindi l'autonomia, la continuità, la capacità di interagire, di aggiungere qualcosa di proprio [...]. Questo le rende privilegiate per poter osservare le competenze. Il problema delle attività che facciamo solitamente a scuola è che ci dedichiamo poco ad "osservare" le competenze perché siamo prese a lavorare con bambini che le stanno acquisendo e vedere i risultati nelle attività quotidiane non è sempre possibile. Queste attività sono tra le poche rispetto alle quali ho potuto dire "Ah caspita! Dall'inizio ad ora ho visto veramente un percorso che ha portato questo gruppo classe all'acquisizione di qualche competenza in più rispetto a quelle iniziali". Mi riferisco non solo alle competenze disciplinari, legate alla scienza e alla matematica, ma soprattutto alle competenze trasversali, sociali, relazionali, metacognitive».

I2: «Spesso in sede di verifica e interrogazione non si ha l'occasione di cogliere le competenze. Quindi capita che arrivino in maniera imprevista. Io sono rimasta tante volte stupita dall'emergere di una competenza. Secondo me anche agli studenti lascia un segno, perché si rendono conto che arrivano ad una soluzione o a fare un ragionamento di cui non si credevano capaci. In alcuni bambini ho visto questo "stupore"».

In riferimento alle competenze personali e relazionali, nello specifico, I1 e I2 sottolineano come l'aspetto ludico e la riduzione dell'ansia associata al voto incidano fortemente sull'autostima degli alunni e quindi sulla loro capacità di esprimersi, dare il proprio contributo e aiutare i compagni, superando dinamiche competitive.

I1: «Aiutandosi tra di loro mettono in gioco quello che loro sanno. Non è più una competizione ma un aiuto reciproco. Sono molto più rilassati, tranquilli e liberi nell'aiutare e dire la propria, ad esempio "Secondo me potresti fare in questa maniera", senza il timore di sbagliare».

I2: «È importante anche il fatto che non ci sia l'ansia del voto, altrimenti l'alunno sarebbe talmente concentrato nel far bene il suo compito da essere meno propenso ad aiutare gli altri».

I1 si esprime inoltre in merito alla difficoltà nel valutare le competenze dei singoli alunni nei lavori di gruppo, riconoscendo il valore aggiunto della rubrica.

I1: «Se fossimo in compresenza sarebbe sicuramente più semplice osservare le competenze anche nei singoli alunni. Ognuna si focalizzerebbe su uno o due aspetti, perché non è possibile osservare tutto. Ad esempio, in quell'attività mi concentro sulla socializzazione e sull'aspetto relazionale. Questa è una mia difficoltà perché spesso mi lascio distrarre da altri aspetti. Quindi avere una rubrica è utile perché limita e aiuta a focalizzarsi su quell'aspetto e non sul resto».

Per quanto concerne poi il rapporto con le discipline STEM (2.2), le insegnanti dichiarano di non aver rilevato una distinzione evidente tra genere maschile e femminile. I3 afferma, al contrario, di aver notato una maggiore propensione verso le materie scientifiche da parte delle alunne. La convinzione che questi settori siano più idonei al sesso maschile è ritenuta quindi il frutto di retaggi sociali e culturali resi più evidenti nel corso della crescita.

I1: «Non è emersa la distinzione tra sesso maschile e femminile nell'approccio con le discipline scientifiche. Penso che non sia una problematica forte alla scuola primaria. Noi cerchiamo di non trasmettere questa distinzione tra le professioni».

I3: «Non è su questi campi che si gioca la distinzione tra i sessi. Anzi, spesso nella mia classe ho notato che sono più le femmine ad essere attratte dalla scienza che non i maschi».

Oltre al distacco dagli stereotipi legati alle differenze di genere, le insegnanti hanno riportato anche un differente approccio verso le discipline STEM (in particolare la matematica) ritenute spesso più ostiche dagli alunni, a causa della loro forte natura procedurale e tecnica. È infatti rilevante notare come l'approccio più ludico, umanistico

e creativo, evidenziato dalle docenti, abbia facilitato gli alunni che solitamente manifestano maggiori difficoltà nei classici esercizi applicativi, mnemonici ed esecutivi. Grazie ad un contesto diverso, dunque, non vissuto come un puro esercizio, gli alunni temono meno il giudizio e acquisiscono più autostima, riuscendo a far emergere le proprie capacità logiche e le conoscenze e le abilità acquisite all'esterno.

I2: «Forse un vantaggio è che tramite queste attività, [le STEM] vengono approcciate in maniera più ludica e non associate direttamente alle discipline tecniche come ingegneria e tecnologia. Anzi sono approcciate anche dal lato umanistico, grazie ai momenti di esposizione, riflessione e ricerca, e questo permette di non considerarle attività puramente tecniche».

I1: «Gli alunni con più difficoltà rispetto a queste discipline si avvicinano diversamente perché non avvertono il peso, il giudizio o la famosa ansia da prestazione legati, ad esempio, alla risoluzione diretta di un'operazione e alla paura di sbagliare. In un contesto diverso come quello di *TinkerCAD* in cui si deve rappresentare una figura, l'alunno mette in pratica le sue conoscenze, ma non lo vede come "puro esercizio". Si avvicina in maniera più rilassata».

I3: «Riguardo alla matematica in particolare, noto che queste attività, essendo molto basate sul problem-solving e molto autentiche rispetto a quelle che solitamente si presentano, permettono di far emergere anche la capacità creativa. Spesso nel modo tradizionale di fare matematica gli alunni tendono a seguire percorsi già tracciati. Per quanto ci sforziamo di presentare situazioni autentiche o reali scatta in loro il meccanismo o il modo sistematico e ripetitivo di fare le cose. Spesso gli alunni che hanno una capacità logica più avanzata non sono quelli che "vanno meglio" in matematica, nel senso tradizionale del termine».

In ultimo, le docenti riportano ancora una volta il valore delle esperienze manuali condotte, utili a valorizzare gli alunni con abilità pratiche più sviluppate e a creare una continuità con la loro realtà familiare e informale.

I3: «Ho notato che i bambini che hanno genitori che svolgono lavori molto pratici o che magari a casa sono abituati a fare esperienze molto manuali, spesso non trovano un

riscontro della loro realtà a scuola. Queste attività invece offrono l'opportunità di esercitare le loro abilità pratiche anche a scuola e di diventare loro stessi gli "esperti", sentendosi molto valorizzati. Permettono quindi, anche a coloro che normalmente non amano la matematica per i suoi aspetti procedurali, di venir fuori dal punto di vista creativo».

I2: «Questo va ad incidere sull'autostima perché spesso i bambini non riescono ad attingere dalle loro esperienze esterne, non avendone occasione tramite i semplici esercizi sul quaderno».

Il tema successivo pone invece l'attenzione sulla figura del docente (3). In particolare, abbiamo indagato eventuali cambiamenti nella postura personale verso la RE e, in generale, nella propria didattica quotidiana. Tutte le docenti affermano di aver modificato il loro approccio alla robotica, ma soprattutto alla sua introduzione nella didattica quotidiana. Infatti, prima della sperimentazione, le docenti si erano limitate a frequentare qualche corso di formazione sul tema e/o ad utilizzare la RE in ambiti extra-curricolari, come i PON, mantenendo preoccupazioni e timori rispetto alla sua implementazione nella didattica curricolare. A tal proposito, I2 dichiara invece di aver cambiato completamente il suo approccio, sentendosi maggiormente rassicurata e formata grazie all'esperienza di modeling e tutoring ricevuta in classe. I1 menziona inoltre l'opportunità di imparare e indagare insieme agli alunni, dimostrando in prima persona come il processo di apprendimento sia un percorso ad ostacoli in cui è lecito e prezioso commettere errori. Così facendo, secondo I2, gli alunni si sentono più responsabilizzati e propensi a mettersi in gioco per imparare insieme.

I2: «Io avevo una paura incredibile. La prima volta che ho fatto un corso [sulla robotica], sono uscita pensando che io e la robotica fossimo due percorsi paralleli che non si sarebbero mai incontrati. Quando mi è stata proposta questa esperienza ho pensato che potesse essere l'occasione per ritornarci in maniera più approfondita. Effettivamente il mio approccio è cambiato completamente. Non mi sento "esperta" ma la presenza della ricercatrice è stata rassicurante e molto formativa e sono riuscita ad imparare le basi per iniziare ad introdurla nella mia didattica».

I1: «Io ho imparato e messo in pratica insieme agli alunni. Gli ho detto che ero anch'io nelle loro condizioni e che insieme saremmo migliorati. L'insegnante dà l'esempio che non si deve sapere per forza tutto e subito, ognuno ha i suoi tempi e le cose si imparano strada facendo, si può sbagliare e chiedere aiuto. Un conto è dirlo semplicemente e un conto è mettersi in gioco con loro, mostrare le proprie difficoltà. L'approccio che ho ora quindi è diverso. Prima pensavo che non l'avrei mai proposta in classe».

I2: «Secondo me questo tipo di atteggiamento da parte dell'insegnante fa la differenza. Io avevo la sensazione che i bambini si sentissero responsabili di dover imparare insieme».

I3: «Io avevo già lavorato con la robotica ma sempre per attività extra-scolastiche, quindi avevo utilizzato lo strumento per svolgere delle attività con dei tempi più distesi e rilassati. Il pensiero che mi ha sempre agitato tantissimo era rivolto a come inserire questi strumenti all'interno della quotidianità didattica. La paura di non avere abbastanza tempo e delle altre possibili problematiche mi ha sempre un po' frenato. Grazie a questo percorso, ho imparato invece che questi strumenti possono essere realmente utilizzati per attività di apprendimento vero e proprio, legate anche a quello che facciamo quotidianamente. [...] La cosa che ho apprezzato tantissimo è stato imparare non solo ad utilizzare gli strumenti, ma soprattutto a strutturare e progettare l'attività in modo ben organizzato; cosa a mio avviso fondamentale, ma su cui ritengo di dover migliorare. Quando si utilizzano strumenti di questo tipo l'improvvisazione non è assolutamente da perseguire. Progettare in tutte le sue fasi è utile anche per prevedere eventuali problematiche».

L'osservazione di I3 ha consentito dunque di riflettere sulla rilevanza di una progettazione attenta ed efficace ai fini di eventuali rimodulazioni in azione.

I3: «Nel momento in cui c'è un percorso ben definito, posso deviare perché so dove devo andare, quindi posso aggiustare il tiro. L'importante è avere il fine ultimo chiaro, che non deve essere il semplice utilizzo dello strumento. A me piace molto utilizzare le tecnologie, ma queste devono essere funzionali all'apprendimento. Quello che mi è piaciuto di questi percorsi è proprio il fatto che fossero progettati

non solo all'interno dei singoli contenuti ma proprio in quegli step che richiamano tutti gli aspetti di una dinamica di apprendimento. Il docente presenta lo strumento, mostra le sue potenzialità, spiega come funziona, ma l'alunno non si limita ad assemblare a caso. Il docente dà anche un obiettivo e un contenuto quindi l'alunno deve condurre la progettazione e l'utilizzo dello strumento al servizio della conoscenza. Questo è molto importante a mio parere, ma progettare da sola in questo modo due o tre attività al mese rappresenta ancora una sfida per me, anche in relazione ai profondi cambiamenti del contesto classe che si verificano in una pluriclasse. Devo lavorare di più su questo aspetto, perché credo che si possa fare».

La scansione delle attività e la ritualità progettuale e autovalutativa sembrano mostrare i primi impatti anche sulla strutturazione della didattica quotidiana e sulla postura di lavoro degli alunni stessi, come evidenziato da I1. L'autovalutazione è divenuta, infatti, una prassi costante e attesa nella sua didattica e gli studenti, anche in situazioni più informali, mettono in atto procedure e ricercano strumenti utilizzati nelle varie situazioni didattiche, modificando il loro *habitus*.

I1: «Gli alunni si aspettano una sfida, non la lezione semplice e cattedratica. Più si propongono situazioni sfidanti e più loro le ricercano. E si vede proprio il loro entusiasmo. Anche nell'organizzazione extra-scolastica o in situazioni di libertà loro riescono a mettere in moto quei processi: discutiamo insieme, progettiamo la bozza e realizziamo, magari usando uno strumento tra quelli sperimentati, e infine condividiamo. Quindi anche in situazioni "libere", non standardizzate e di didattica pura, si ritrova chiaramente l'input dato come modo di lavorare. [...] L'autovalutazione era già inclusa nella mia didattica fin dalla DAD, ma non in forma così dettagliata. Ora questa prassi riflessiva è diventata quasi quotidiana. Qualsiasi attività propongo alla fine include sempre l'autovalutazione, discorsiva o per iscritto, ma c'è sempre. E loro ormai si aspettano questo momento di riflessione personale».

L'ultima tematica discussa concerne le proposte di miglioramento (4). A fronte di quanto emerso, le docenti individuano come punti salienti: una migliore gestione dei tempi e degli spazi, una maggiore e più efficace condivisione delle attività con i

colleghi, una diffusa formazione (anche a livello tecnico) del corpo docente su tali tematiche innovative, un tempo più disteso per sperimentare i nuovi strumenti e delle occasioni periodiche di riflessione e confronto tra docenti.

I3: «Visto che tutti i momenti che abbiamo proposto sono fondamentali, forse si potrebbe presentare una sfida in meno al mese e dare più spazio e sviluppare meglio le rimanenti. Forse gli alunni riuscirebbero anche a metabolizzarle meglio».

I2: «L'ambiente di apprendimento andrebbe implementato, magari con delle postazioni computer e le forniture necessarie».

I1: «Cambiare stanza e spostarsi può fare la differenza a livello fisico. Può essere uno stimolo, soprattutto per alcuni bambini, avere la possibilità di muoversi e cambiare ambiente. [...] Se possibile, proporre un confronto con gli studenti alla fine dell'autovalutazione, riprendendo i quesiti e chiedendo: "Come avete risposto?". Dare spazio a questo dialogo non solo cartaceo o scritto ma anche orale».

La condivisione con i colleghi è ritenuta necessaria per l'efficacia, ma spesso questa rivela le reticenze di alcuni docenti. Molti, infatti, portano avanti percorsi individuali e non sono sempre disposti a condividere in classe prassi differenti. Secondo I3, dunque, l'aggiornamento e la formazione giocano un ruolo chiave, ma è importante avere il giusto tempo per riflettere e mettere in pratica gli stimoli ricevuti, nonché attivare spazi di autovalutazione e confronto anche per gli insegnanti. Sarebbe inoltre auspicabile promuovere una "contaminazione" tra la l'ambito artistico e umanistico e quello tecnologico e viceversa, affinché la diversità diventi una ricchezza. A tal proposito, I3 mette in risalto la natura democratica di tali attività, in grado di lasciare spazio di espressione a tutti.

I2: «Per una maggiore efficacia futura di tali attività, la condivisione con i colleghi del gruppo classe è molto importante perché se lavoriamo tutti in questa direzione la proposta sarà sicuramente ancora più incisiva».

I3: «Io ho una collega "anti-tecnologia", quindi sarebbe utile attivare dei percorsi realmente STEAM: portare la parte artistica, umanistica e creativa all'interno di attività centrate sulle materie STEM. Io mi farei "contaminare" da lei e viceversa. La

nostra diversità dovrebbe diventare una ricchezza. La questione riguarda proprio il significato stesso di tecnologia, come dicevo prima. Secondo me è molto di più dello strumento. Spesso i colleghi fanno resistenza verso questo tipo di attività perché pensano che si tratti di attività “fredde”, tecniche, tecnologiche addirittura. Invece a me queste attività sono piaciute proprio perché uniscono l’aspetto creativo a quello tecnologico. Sono veramente democratiche, perché lasciano spazio di espressione a tutti. Quindi non dovrebbero esserci più docenti diffidenti verso la tecnologia, solo perché non la conoscono e non sanno utilizzarla. Io credo che l’unico modo sia mostrarglielo».

I1: «C’è ancora questa visione dello strumento fine a se stesso. Molti colleghi si chiedono: “Ma perché devo presentare quell’attività col robottino, se posso presentarla in maniera classica? Perché devo aggiungere per forza la tecnologia, tra l’altro non sapendo come usare quegli strumenti?”. È necessaria una maggiore formazione dei docenti, anche a livello tecnico e nei periodi giusti, per non risultare troppo sovraccaricati».

I3: «Importante è anche la continuità di queste attività con le scuole medie. C’è ancora della reticenza anche da parte dei genitori. L’insegnante fin dalla primaria è tenuto ad insegnare la tecnica di studio. [...] È importante documentare in modo adeguato queste attività anche con i genitori, affinché ne colgano le potenzialità. [...] Sarebbe utile avere più tempo per sperimentare a fondo gli strumenti e capire come utilizzarli. [...] Inoltre, proporrei anche dei momenti di confronto tra noi insegnanti, magari durante o alla fine del percorso».

Tramite la domanda conclusiva, abbiamo infine chiesto ai docenti di individuare l’aspetto a loro avviso più rilevante tra quelli discussi. Oltre all’impatto sulla motivazione degli alunni, le docenti hanno insistito particolarmente sul proprio cambiamento, ossia sulla loro messa in discussione come insegnanti al fine di uscire dalla propria *comfort zone* e adottare posture e prospettive differenti che consentano di cogliere preziosi feedback derivanti dalla pratica.

I3: «La prima cosa che mi viene in mente è la motivazione dei bambini, lo stupore, l'entusiasmo. Nelle scuole di ordine superiore spesso questo si perde, venendo sempre più a mancare questa modalità di condurre le attività didattiche».

I1: «Per me anche la condivisione sia con i bambini che con il gruppo insegnante. [...] Vivendo giorno per giorno la didattica in classe spesso non ci si rende conto dei progressi e degli input che si danno ai bambini. Noi siamo portate ad evidenziare sempre in negativo. Un altro punto di vista invece ci consente di cogliere l'impronta che stiamo dando e di mettere in discussione noi stessi come docenti. In queste attività a volte non si colgono subito i risultati; il feedback è più a lungo termine».

I2: «Oltre all'entusiasmo, un aspetto molto importante è anche quello di rivedere e di mettere in discussione se stessi e il proprio modo di insegnare, uscendo dalla propria *comfort zone*».

4. Sintesi e considerazioni finali

L'esperienza menzionata 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 le già citate *skills* 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* (1; 6; 7; 8; 9). 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 (1; 6; 7).

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 sul lavoro derivante dall'interazione robot-ambiente con cui gli studenti dovevano confrontarsi, per riprogettare e riflettere su quanto fatto (Daniela & Strods, 2019; Gratani *et al.*, 2021). La RE può infatti contribuire in modo significativo a creare un ambiente di apprendimento stimolante sia per gli studenti che per gli insegnanti, con un chiaro incentivo alle competenze relazionali e collaborative (Guastella & D'Amico, 2020).

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 (1; 4; 6). Il maggior range di crescita si rileva invece per gli item relativi al sentirsi bravi nel costruire o riparare cose (3) e, ancora più rilevante, per quelli relativi a prospettive lavorative in questi campi (5; 6; 7). 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 (1; 6; 7). Inoltre, in tutti i confronti emerge un'*attitude* elevata verso le prospettive di miglioramento dell'andamento disciplinare (4; 5) 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. Come anticipato, 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 poi 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 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. 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, i diari di bordo hanno posto ulteriore enfasi sullo 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 (2) e la capacità di lavorare bene in gruppo (4).

Nonostante ciò, i propositi di miglioramento sono primariamente rivolti alle seguenti aree:

- comunicazione, interazione 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. Le principali ragioni riportate vertono su:

- la natura collaborativa, pratica, creativa e ludica delle attività;
- la possibilità di sperimentare nuovi strumenti e 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 condividendo le proprie idee;
- la possibilità di utilizzare le tecnologie per realizzare e 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;
- l'interdisciplinarietà delle sfide e l'interesse per i temi trattati;
- l'attivazione in prima persona e il coinvolgimento della realtà extra-scolastica.

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 making, ma anche su aspetti legati alla sfera personale, come autoregolazione e flessibilità, e a quella di imparare ad 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 sono sostenuti e sostengono quanto affermato dalla letteratura inerente alla RE e alla *Maker Education*. In particolare, si richiama il forte impulso alla creatività, all'autorialità e alla responsabilizzazione degli alunni, nonché la visione positiva dell'errore e il focus sul problem-solving al fine di stimolare il pensiero critico e creativo. L'auto-progettazione e realizzazione degli artefatti, la spinta all'immaginazione e alla libertà intellettuale, nonché la possibilità di impattare su un contesto di vita reale attraverso un'esperienza *embodied* si sono rivelati infatti 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 la soddisfazione nel poterne far uso 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, le insegnanti hanno ritenuto la proposta complessivamente sostenibile, in particolar modo per:

- orario settimanale dedicatovi;
- inclusività promossa;
- accurata progettazione iniziale e scansione delle attività.

In relazione alla seconda tematica, volta ad approfondire la prima, possiamo riassumere le principali criticità individuate come segue:

- gestione dei tempi (dedicare più tempo alla fase di condivisione finale e di autovalutazione individuale);
- gestione dello spazio (difficoltà logistiche aggravate dalle misure emergenziali, utilizzo dello stesso ambiente riservato alla didattica quotidiana, disponibilità o 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 reticenze spesso derivanti dalla mancanza di esperienza e di conoscenza tecnica e metodologica.

Al contempo, le docenti hanno segnalato numerose ricadute positive, dapprima generiche e poi specifiche in relazione al miglioramento della visione delle STEM e della valutazione delle competenze:

- 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;

- diffuso e “palpabile” entusiasmo tra gli alunni;
- 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;
- accesso “privilegiato” per osservare le competenze in evoluzione, disciplinari e soprattutto trasversali, non sempre rilevabili nelle attività tradizionali;
- 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;
- approccio facilitato verso le discipline STEM (in particolare la matematica) grazie all’approccio più ludico, umanistico e creativo e ad un contesto più rilassato, non vissuto come puro esercizio;
- valorizzazione delle abilità pratiche e continuità con la realtà familiare e informale degli studenti.

Tali aspetti richiamano fortemente i sette *Maker Elements*, costitutivi della mentalità maker (agency, processo di progettazione, scaffolding sociale, assunzione di rischi produttiva, risoluzione dei problemi, collegamento delle conoscenze, conoscenza dei contenuti) (Murai *et al.*, 2019), nonché i cinque principi di Blikstein (2013, p. 219) (vedi capitolo 2, par. 4.2.) per la progettazione di ambienti di apprendimento che incorporano la fabbricazione digitale. Possiamo infatti rintracciare la predilezione di sfide e compiti complessi, i cicli multipli di progettazione, il «coinvolgimento viscerale» degli studenti, la ridefinizione dei confini artificiali tra le discipline per apprezzare la ricchezza di «potenti progetti interdisciplinari», la promozione di un apprendimento contestualizzato delle STEM in cui concetti astratti diventano significativi e concreti e l’«intellettualizzazione» e rivalutazione delle pratiche familiari degli studenti mediante strumenti socialmente apprezzati e un ambiente che valorizzi molteplici modi di lavorare.

In relazione alla nuova normativa europea e italiana in materia di valutazione e valorizzazione delle competenze e di revisione dei curricula, lo spazio d'azione offerto dalle attività making appare dunque un terreno fertile e un canale “privilegiato” per la profonda revisione auspicata.

Focalizzandoci poi sulla figura del docente abbiamo rilevato i seguenti cambiamenti nel loro *habitus* professionale:

- diverso approccio alla robotica e alla sua introduzione nella didattica quotidiana, grazie all'esperienza di modeling e tutoring ricevuta;
- opportunità di mettersi in gioco per imparare e indagare insieme agli alunni, favorendo una maggiore responsabilizzazione e partecipazione degli stessi;
- progettazione attenta ed efficace ai fini di eventuali rimodulazioni in azione;
- differente strutturazione della didattica quotidiana (scansione delle attività e ritualità progettuale e autovalutativa).

È interessante notare come sia gli alunni che le 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 ventunesimo 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 e 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;
- 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 preziosa e rara 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.

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 making 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 facilitare il processo di inclusione di tutti gli studenti coinvolti e favorire lo sviluppo di abilità diversificate, incentivando la devoluzione (Brousseau, 1986) dei partecipanti.

Individuiamo come limiti principali del progetto pilota il numero ristretto di studenti e classi coinvolti, la variazione del campione (cambio di anno scolastico, scuola, composizione della classe e del corpo docente) e i vincoli dovuti alla situazione pandemica in atto. Si evidenziano infine alcuni valori particolarmente elevati nei pre-Parte I di Q1 e Q2; questi possono essere giustificati da una competenza autovalutativa degli studenti ancora immatura all’inizio del progetto. Le classi non erano infatti abituate a svolgere costanti pratiche di autovalutazione e riteniamo vi sia stato uno sviluppo anche di questa competenza, soprattutto in termini di autoanalisi e consapevolezza.

6. Conclusioni

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). 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 riconcepire 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 introdurre un nuovo aspetto legato a tale didattica, definito come "*Critical Making*" (Ratto, 2011). L'interdisciplinarietà diviene uno dei criteri chiave che deve caratterizzare un percorso didattico: 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).

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.

In questo progetto pilota, 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 (Vuorikari *et al.*, 2019). 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).

Citando poi 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. I primi tentativi per promuovere l'attività innovativa e imprenditoriale dovrebbero infatti concentrarsi sulle competenze essenziali che gli studenti andranno poi a potenziare nelle fasi successive di istruzione ed esperienza lavorativa, tra cui la fiducia in se stessi, la creatività e il lavoro di squadra. Occorre perciò partire da un approccio incoraggiante atto a valorizzare le idee innovative degli studenti, riducendo la paura del fallimento. 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).

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*. Le

sfide proposte invitavano gli alunni a progettare, inventare, realizzare, testare, condividere e riflettere, sperimentando nuovi strumenti e modalità di apprendimento e richiamando al contempo vari contenuti disciplinari. Il percorso progettuale mirava, inoltre, a concedere un'autonomia crescente agli alunni, così da far emergere i loro interessi e la loro creatività e lasciare spazio a tentativi, errori e rimodulazioni. 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 (esperimenti con kit di elettricità) 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 (sostenibilità, biodiversità degli ecosistemi montani e acquatici, sostanze,

materia e corpo umano, comportamenti nocivi e benefici per la propria salute e quella dell'ambiente).

Le tecnologie adottate e la struttura stessa del percorso hanno infine fornito supporto per eventuali deviazioni. L'organizzazione flessibile e modulare della didattica e l'utilizzo di strategie metacognitive e di attività di tipo laboratoriale si sono infatti 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 condotto tra la prima e la seconda parte del progetto hanno consentito una revisione della progettazione, a cominciare da tempi, strumenti e, in alcuni casi, obiettivi. Il focus group mirava infatti ad indagare la sostenibilità del percorso avviato e a cogliere difficoltà, imprevisti e micro-emergenze emerse. Tali elementi hanno reso necessarie delle deviazioni rispetto al percorso originariamente elaborato per far sì che il progetto fosse rispondente alle esigenze evidenziate. 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).

Vossoughi, Hooper e Escudé (2016) sostengono che il lavoro con la tecnologia nei makerspace possa generare nuovi modi di pensare alle idee disciplinari e quindi promuovere un pluralismo epistemologico. Gli autori richiamano infatti 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. Nello specifico, Turkle e Papert (1992) ritenevano che osservando individui che programmano è possibile notare un approccio concreto e personale ai materiali che entra in conflitto con i modi di fare consolidati all'interno della cultura informatica. Il computer è infatti prevalentemente associato ad una macchina logica e la programmazione viene generalmente considerata un'attività tecnica e matematica. Tuttavia, il computer si colloca tra il mondo dei sistemi formali e le cose fisiche, rendendo concreto l'astratto. Da un lato, quindi, 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 e logiche, necessarie per comprendere il linguaggio della macchina ed 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.

Come si evince dall'analisi delle ricadute sugli studenti e delle riflessioni avanzate dai docenti in sede di focus group, molti dei vantaggi educativi ricondotti all'approccio Maker hanno trovato riscontro nel progetto. 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", mettendo in discussione le pratiche educative comuni e radicate e promuovendo lo sviluppo delle competenze del XXI secolo. 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. Si riscontra dunque il coinvolgimento dei giovani alunni in un apprendimento più profondo delle STEM (Gilbert, 2017) e un accesso "facilitato" e alternativo alla conoscenza scientifica (Martin, 2015). Non meno rilevante è inoltre il potenziale emerso in relazione alla motivazione, all'interesse e all'*agency* degli alunni. Una componente importante dell'approccio risiede nel concedere autonomia agli studenti per risolvere la sfida, determinare le conoscenze e gli strumenti necessari e stabilire un piano di lavoro che consenta di completare il progetto in tempo utile (Doppelt, 2009). Ciò influisce a sua

volta sul senso di competenza degli studenti e sulla decisione di partecipare a compiti simili in futuro.

Nel contesto contemporaneo, caratterizzato da rapide innovazioni tecnologiche, non solo si modificano le attività quotidiane dei giovani in relazione ai nuovi strumenti e materiali, ma anche le loro opportunità e motivazioni ad utilizzare tali strumenti e materiali a modo loro. Negli ultimi anni il movimento Maker ha infatti consolidato la tendenza al cosiddetto *authorship learning* (Donaldson & Bucy, 2017), 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. L'impatto su autoefficacia e *self-confidence* degli studenti può quindi 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*¹¹⁸ 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. Il soggetto cerca di attuare dei cambiamenti a livello individuale e sociale mediante l'uso attivo di strumenti culturali e intellettuali, che assumono valore all'interno della propria comunità. 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).

¹¹⁸ 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. In quanto tale, questo approccio risolve teoricamente la tensione tra l'apprendimento come processo di produzione o riproduzione culturale, mediando tra l'individuo e il socio-culturale e identificando un'ontologia relazionale tra i due (Bevan, 2017).

Le potenzialità delle attività maker appaiono tuttavia ancora non pienamente sfruttate. L'attuazione pratica in ambito scolastico ed 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 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 ad 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, per far leva invece sugli interessi e le inclinazioni individuali dei discenti e sugli aspetti creativi e interdisciplinari, prevenendo e scardinando meccanismi di esclusione (Bevan, 2017; Godhe, Lilja, & Selwyn, 2019; Repetto, 2020).

In sintesi, la diffusione e l'efficacia di questo approccio innovativo, specialmente in termini di inclusione, non possono prescindere dalla considerazione dei cambiamenti strutturali in atto (Vossoughi, Hooper, & Escudé, 2016) e degli approcci pedagogicamente orientati necessari a supportare l'apprendimento di tutti gli studenti. Il ripensamento delle attività dovrebbe quindi 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).

Le esperienze raccolte e il progetto pilota si pongono l'obiettivo di avviare un processo di ripensamento e di riflessione sulle correnti pratiche educative, che appaiono ancora troppo spesso ancorate a schemi tradizionali non più conformi ad una società estremamente mutevole e complessa. La complessità, il digitale e l'ubiquità sono

divenuti paradigmi costitutivi e interpretativi dell'attuale cultura, aprendo ad innumerevoli scenari che alimentano fortemente la ricerca in ambito educativo. Le esperienze condotte sinora hanno 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 ed impattare nella prassi educativa.

Quanto emerso è, in sintesi, ben racchiuso nel pensiero del padre della *Maker Culture*, Dale Dougherty. Trasformare l'educazione è la più grande sfida e al contempo opportunità offerta dal movimento Maker. I passi da compiere verso tale direzione sono molteplici, molti dei quali ancora inesplorati; tuttavia, *to Make it happen*, «*the agents of change*» dovranno essere gli studenti stessi.

Bibliografia

- 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.
- Agatolio, F., Moro, M., Menegatti, E., & Pivetti, M. (2019). A Critical Reflection on the Expectations About the Impact of Educational Robotics on Problem-solving Capability. In M. Strand, R. Dillmann, E. Menegatti, & S. Ghidoni (Eds.), *Intelligent Autonomous Systems. IAS 2018*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 867 (pp. 877-888). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01370-7_68
- Agatolio, F., Pivetti, M., Di Battista, S., Menegatti, E., & Moro, M. (2017). A Training Course in Educational Robotics for Learning Support Teachers. In D. Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti (Eds.), *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 560 (pp. 43-57). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9_4
- 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>
- Alimisi, R., Loukatos, D., Zoulias, E., & Alimisis, D. (2020) Introducing the Making Culture in Teacher Education: The eCraft2Learn Project. 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. 27-41). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3_3
- Alimisis, D. (2012). Robotics in Education & Education in Robotics: Shifting Focus from Technology to Pedagogy. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Robotics in Education* (pp. 7-14).
- 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/> [31.10.2022]
- 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 [31.10.2022]

- 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
- 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., Moro, M., & Menegatti, E. (2017). Preface. In D. Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti (Eds.), *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 560 (pp. v-vi). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9_18
- 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://aprja.net/issue/view/8400> [31.10.2022]
- 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>
- Argentin, G. (2018). *Gli insegnanti nella scuola italiana. Ricerche e prospettive di intervento*. Bologna: il Mulino.
- Arís, N., & Orcos, L. (2019). Educational robotics in the stage of secondary education: Empirical study on motivation and STEM skills. *Education Sciences*, 9, 2. <https://doi.org/10.3390/educsci9020073>
- 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>
- Atmatzidou S., Demetriadis S., & Nika, P. (2018). How Does the Degree of Guidance Support Students’ Metacognitive and Problem Solving Skills in Educational Robotics? *Journal of Science Education and Technology*, 27(1), 70-85.
- Atmatzidou, S., & Demetriadis, S. (2016). Advancing students’ computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 661-670.
- 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> [31.10.2022]
- 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. Moneriù, & 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
- Bandura, A. (1993). Perceived self-efficacy in cognitive development and functioning. *Educational Psychologist*, 28(2), 117–148. https://doi.org/10.1207/s15326985ep2802_3
- Bandura, A. (1994). Self-efficacy. In V.S. Ramachandran (Ed.), *Encyclopedia of human behavior* (Vol. 4, pp. 71-81). New York, NY: Academic Press.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: the exercise of control*. New York, NY: Freeman.
- Bandura, A. (2010). Self-efficacy. In I.B. Weiner, & W.E. Craighead (Eds.), *The Corsini Encyclopedia of Psychology* (4th Ed., pp. 1534-1536). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0836>
- Banzato, M., & Tosato, P. (2017). Narrative learning in coding activities: gender differences in middle school. *Formazione e insegnamento 1*, 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>
- 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> [31.10.2022]
- Barton, A.C., Tan, E., & Greenberg, D. (2017). The Makerspace Movement: Sites of Possibilities for Equitable Opportunities to Engage Underrepresented Youth in STEM. *Teachers College Record*, 119(6), 1–44.
- 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>
- 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.
- Bellas, F., Salgado, M., Blanco, T.F., & Duro, R.J. (2019). Robotics in Primary School: A Realistic Mathematics Approach. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 149–182). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_6
- Benitti, F.B.V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978-988. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006>
- 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, D.M., & Dieter, M. (Eds.). (2015). *Postdigital aesthetics: Art, computation and design*. New York, NY: Palgrave Macmillan.
- 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.
- Bers, M.U. (2008). *Blocks to robots: Learning with technology in the early childhood classroom*. New York, NY: Teachers College Press.
- Bers, M.U., Ponte, I., Juelich, K., Viera, A., & Schenker, J. (2002). Teachers as Designers: Integrating Robotics in Early Childhood Education. *Information Technology in Childhood Education Annual*, 123-145. Disponibile in: <https://www.learntechlib.org/primary/p/8850/> [31.10.2022]
- 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. <http://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 21st century skills* (Vol. 1, pp. 17–66). Netherlands: Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5_2
- Bishop, R., Gansing, K., Parikka, J., & Wilk, E. (Eds.). (2017). *Across & beyond: A transmediale reader on post-digital practices, concepts, and institutions*. Berlin: Sternberg Press.
- 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). <http://dx.doi.org/10.14221/ajte.2018v44n4.4>
- 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., Martinez, S.L., & Pang, H.A. (2016). *Meaningful making: Projects and inspirations for Fab Labs + makerspaces*. Torrance, CA: Constructing Modern Knowledge Pres.

- Bocconi, S., Kampylis, 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>
- Bocola, M. (2011). Le nuove frontiere della produzione: la digital fabrication. *TafterJournal*, 40. Disponibile in: <https://www.tafterjournal.it/2011/10/04/le-nuove-frontiere-della-produzione-la-digital-fabrication/> [31.10.2022]
- Bolter, D. & Grusin, R. (2000). *Remediation: understanding new media*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- 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.
- Bonnet de León, A., Saorín, J.L., de la Torre-Cantero, J., Meier, C., & García Marrero, E. (2019). The Classroom as a Makerspace: Use of Tablets and Cutting Plotter to Create Pop-Up Cards in Educational Environments. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 14(10), 116–131. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i10.10284>
- 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>
- Botelho, S.S., Braz, L.G., & Rodrigues, R.N. (2012). Exploring creativity and sociability with an accessible educational robotic kit. In *Proceedings of 3rd International Conference on Robotics in Education (RIE 2012)* (pp. 55-60). Prague, Czech Republic.
- 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.
- 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/> [31.10.2022]
- Breazeal, C., Dautenhahn, K., & Kanda, T. (2016). Social robotics. In B. Siciliano, & O. Khatib (Eds.), *Springer Handbook of Robotics*. Springer Handbooks (pp. 1935–1972). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32552-1_72
- 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-Arnanz (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
- 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/> [31.10.2022]
- 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>
- Bruner, J. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31(1), 21-32.
- Bruni, F. (2019). Dall’edutainment alla gamification. In P.C. Rivoltella & P.G. Rossi (Eds.), *Tecnologie per l’educazione* (pp. 239-248). Milano: Pearson.
- 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.
- 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.
- 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> [31.10.2022]
- 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
- Camilleri, P. (2017). Minding the gap. proposing a teacher learning-training framework for the integration of robotics in primary schools. *Informatics in Education*, 16(2), 165-179.
<https://doi.org/10.15388/infedu.2017.09>
- Cannone, L. (2021). “Esplorazioni casalinghe”: esperienze di tinkering 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. 77-82). Roma: Carocci editore.

- Čapek, K. (1920). *R.U.R. Rossum's Universal Robots*. Prague: Vydalo Aventium.
- Carbonaro, M., Rex, M., & Chambers, J. (2004). Exploring middle school children's problem solving during robot construction tasks. In R. Ferdig, C. Crawford, R. Carlsen, N. Davis, J. Price, R. Weber, & D. Willis (Eds.), *Proceedings of the society of information technology and teacher education* (pp. 4546–4550). Atlanta, GA: Association for the Advancement of Computing in Education (ACE). Disponibile in: <https://www.learntechlib.org/primary/p/13135/> [31.10.2022]
- 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/research/visualizingthe-breadth-of-skills-movement-across-education-systems/> [31.10.2022]
- 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>
- Casado Fernández, R. & Checa Romero, M. (2020). Robótica y Proyectos STEAM: Desarrollo de la creatividad en las aulas de Educación Primaria. *Píxel-Bit: Revista de Medios y Educación*, 58, 51-69. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.73672>
- 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> [31.10.2022]
- 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> [31.10.2022]
- Cecchinato, G., & Papa, R. (2016). *Flipped Classroom. Un nuovo modo di insegnare e apprendere*. Novara: De Agostini.
- Cejka, E., Rogers, C., & Portsmore, M. (2006). Kindergarten robotics: Using robotics to motivate math, science, and engineering literacy in elementary school. *International Journal of Engineering Education*, 22(4), 711–722.

- 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.
- Chalmers, C. (2018). Robotics and computational thinking in primary school. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 17, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2018.06.005>
- 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 [31.10.2022]
- 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>
- 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> [31.10.2022]
- 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>
- Church, W.J., Ford, T., Perova, N., & Rogers, C. (2010). Physics with robotics - using LEGO Mindstorms in high school education. In *2010 AAAI Spring Symposium Series*.
- Cicognini, M.E., Miotti, B., & Bizzarri, C. (2019). Educational robotics laboratories for active learning. The case study of Florence schools joining the Le Chiavi della Città project. *Form@re : Open Journal per La Formazione in Rete*, 19(1), 149-164. <https://doi.org/10.13128/formare-24760>
- Cobb, P.A., Confrey, J., diSessa, A.A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13.
- 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) [31.10.2022]

- Conti, V. (2021). Autismo, storytelling e robotica educativa: to be continued. In G. Bozzi, L. Zecca, & E. Datteri (Eds.), *Interazione Bambini-Robot. Riflessioni Teoriche, Risultati Sperimentali, Esperienze* (pp. 135-149). Milano: FrancoAngeli.
- Contreras-Koterbay, S., & Mirocha, L. (2016). *The New Aesthetic and Art: Constellations of the Post-digital*. Amsterdam: Institute of Network Cultures. Disponibile in: <https://research.hva.nl/en/publications/the-new-aesthetic-and-art-constellations-of-the-postdigital> [31.10.2022]
- Covadonga, L. (2017). Digital Fabrication as a Tool for Teaching High-School Students STEM at the University. In *IDC '17: Proceedings of the 2017 Conference on Interaction Design and Children* (pp. 549-554). <https://doi.org/10.1145/3078072.3084323>
- Coventry University (2018). *The centre for postdigital cultures (CPC)*. Disponibile in: <http://www.coventry.ac.uk/research/areas-of-research/postdigital-cultures/> [31.10.2022]
- 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>
- Crichton, S., & Childs, E. (2016, October). Taking Making into Schools Through Immersive Professional Learning. In *Proceedings for the 15th European Conference on e-Learning (ECEL)* (pp. 144–150). Prague: Academic Conferences International Limited.
- 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.), *Educational Robotics in the Context of the Maker Movement. 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
- Danahy, E., Wang, E., Brockman, J., Carberry, A., Shapiro, B., & Rogers, C.B. (2014). LEGO-based robotics in higher education: 15 years of student creativity. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(2), 1-15. <https://doi.org/10.5772/58249>.
- 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
- 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. (2018). Robot as agent in reducing risks of early school leaving. In L. Daniela (Ed.), *Innovations, technologies and research in education* (pp. 140–158). Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing.

- 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
- 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
- Dean, N.L., Ewan, C., Braden, D., & McIndoe, J.S. (2019). Open-Source Laser-Cut-Model Kits for the Teaching of *Molecular Geometry*. *Journal of Chemical Education*, 96(3), 495–499. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00553>
- Dean, N.L., Ewan, C., McIndoe, J.S. (2016). Applying Hand-Held 3D Printing Technology to the Teaching of VSEPR Theory. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1660-1662. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00186>
- 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/> [31.10.2022]
- 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.
- 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
- 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., & Miotti, B. (2021). Perspectives for School: Maker Approach, Educational Technologies and Laboratory Approach, New Learning Spaces. 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. 3-8). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_1
- 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. Moneriù, & 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
- Dixson, D., & Worrell, F. (2016). Formative and summative assessment in the classroom. *Theory into Practice*, 55(2), 153–159. <https://doi.org/10.1080/00405841.2016.1148989>
- 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.
- Doorman, M., Bos, R., de Haan, D., Jonker, V., Mol, A., & Wijers, M. (2019). Making and Implementing a Mathematics Day Challenge as a Makerspace for Teams of Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(1), 149-165.
- 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
- Dougherty, D. (2013). The maker mindset. In M. Honey & D.E. Kantor (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.
- Dweck, C. (1999). *Self-theories*. Philadelphia: Psychology Press.
- 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). Disponible in: <https://www.learntechlib.org/primary/p/24977/> [31.10.2022]
- Eguchi, A. (2016). RoboCupJunior for promoting STEM education, 21st century skills, and technological advancement through robotics competition. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 692-699. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.05.013>
- Eguchi, A., & Uribe, L. (2017). Robotics to promote STEM learning: Educational robotics unit for 4th grade science. In *2017 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)* (pp. 186-194). IEEE.

- El-Ashry, A.H., Zhang, X., Shrotri, S., Abler, S., & Hamidi, F. (2021). Exploring the Collaboration Possibilities of Distributed Making for Storytelling Using 3D Printing Pens. In J. Birnholtz, L. Ciolfi, S. Ding, S. Fussell, A. Monroy-Hernández, S. Munson, I. Shklovski, & M. Naaman (Eds.), *CSCW '21: Companion Publication of the 2021 Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing* (pp. 44-48). New York, NY: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3462204.3481755>
- Erkut, S., & Marx, F. (2005). *4 schools for WIE (Evaluation Report)*. Wellesley, MA: Wellesley College, Center for Research on Women. Disponibile in: <http://www.coe.neu.edu/Groups/stemteams/evaluation.pdf> [31.10.2022]
- Ertmer, 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.), *Educational Robotics in the Context of the Maker Movement. 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
- 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 [31.10.2022]
- 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>
- 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., & Dede, C. (2016). Teaching and technology: New tools for new times. In D.H. Gitomer, & C.A. Bell (Eds.), *Handbook of Research on Teaching, 5th Edition* (pp. 1269-1334). Washington, DC: American Educational Research Association.
- Fishman, B.J., Marx, R. W., Best, S., & Tal, R. (2003). Linking teacher and student learning to improve professional development in systemic reform. *Teaching and Teacher Education*, 19(6), 643–658. [https://doi.org/10.1016/S0742-051X\(03\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0742-051X(03)00059-3)
- 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.
- Flinders, D.J., & Thornton, S.J. (Eds.) (2004). *The Curriculum Studies Reader*. New York: Routledge.
- Flowers, J., Wierzbicki, A., & Weldy, A. (2020). Laser Machining 3D Challenge. *Technology and Engineering Teacher*, 80(1), 8-15.
- Folkman, M.N. (2013). *The Aesthetics of Imagination in Design*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131-150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Foresi, G., Freddi, A., Moneriù, A., Ortenzi, D., & Pagnotta, D.P. (2018). Improving mobility and autonomy of disabled users via cooperation of assistive robots. In *2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)* (pp. 1-2). <https://doi.org/10.1109/ICCE.2018.8326291>
- 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.
- Fuchs, P., Moreau, G., & Guitton, P. (2011). *Virtual Reality: Concepts and Technologies*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Gabriele, L., Bertacchini, F., Pantano, P., & Bilotta, E. (2020). Laboratorio per apprendere le competenze del 21° secolo: percorsi didattici con scratch per i futuri insegnanti della scuola primaria. *Italian Journal of Educational Technology*, 28(1), 20-42. <https://doi.org/10.17471/2499-4324/1113>
- 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.
- Ge, X., Yang, Y.J., Liao, L., & Wolfe, E.G. (2015). Perceived affordances of a technology-enhanced active learning classroom in promoting collaborative problem solving. In P. Isaías, P., J.M. Spector, D. Ifenthaler, & D.G. Sampson (Eds.), *E-Learning systems, environments and approaches: Theory and implementation* (pp. 305-322). New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05825-2_21
- Gehring, 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>
- 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>
- Giacomassi Luciano, A.P., Altoé Fusinato, P., Carvalhais Gomes, L., Luciano, A., & Takai, H. (2019). The educational robotics and Arduino platform: constructionist learning strategies to the teaching of physics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1286(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1286/1/012044>

- Giannandrea, L. (in press). La valutazione diffusa. Gli embedded tasks e l'assessment as learning. In P.C. Rivoltella, & P.G. Rossi (Eds.), *Nuovo agire didattico. Manuale per l'insegnante*. Brescia: Scholé.
- 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., & D'Angelo, I. (2018). Bambini e Robot. La Robotica Educativa nella scuola dell'infanzia. In C. Giacconi, & N. Del Bianco (Eds.) *In Azione. Prove di inclusione* (pp. 15-23). Milano: FrancoAngeli.
- Giannandrea, L., Gratani, F., & Renieri, A. (2020). Crossing boundaries: documentation of a teacher training course on design, robotics and coding. *Research on Education and Media*, 12(1), 85–92. <https://doi.org/10.2478/rem-2020-0010>
- Giannandrea, L., Gratani, F., & Renieri, A. (2021). Teacher training on Educational Robotics: a systematic review. *International Journal of Social Science and Technology*, 6(4). Centre for Promoting Knowledge (CPK).
- 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.
- Glatthorn, A.A. (1999). *Performance standards and authentic learning*. Larchmont, NY: Eye of education.
- 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 (AACE).
- 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., & 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., & Renieri, A. (2021a). Inclusive Designing Through Educational Robotics. A Training Course for Pre-Service Support Teachers. In M. Ranieri, L. Menichetti, S. Cuomo, D. Parmigiani, & M. Pellegrini (Eds.), *ATEE Spring Conference 2020-2021 Book Of Abstracts* (pp. 187-190). Firenze: Firenze University Press.
- Gratani, F., Giannandrea, L., & Renieri, A. (2021b). The impact of a teacher training online course on educational robotics. In L. Gómez Chova, A. López Martínez, & I. Candel Torres (Eds.), *EDULEARN21 Proceedings* (pp. 11527–11533). Valencia: IATED Academy. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2021.2412>
- Gratani, F., Giannandrea, L., & Renieri, A. (2022). “Experience” on the Screen. Training Pre-service Teachers on Educational Robotics. In G. Casalino, M. Cimitile, P. Ducange, N. Padilla Zea, R. Pecori, P. Picerno, & P. Raviolo (Eds.), *Higher Education Learning Methodologies and Technologies Online. HELMeTO 2021*. Communications in Computer and Information Science, 1542 (pp. 16-30). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96060-5_2
- 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: Spinger. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77022-8_1
- Gratani, F., Giannandrea, L., & Rossi, P.G. (in press). Learning in the post-digital era. Transforming education through the Maker approach. *Research on Education and Media*.
- 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. (Ed.). (2015). *A scuola con i robot: innovazione didattica, sviluppo delle competenze e inclusione sociale*. Bologna: il Mulino.
- Grimaldi, R., Grimaldi, B.S., Marciandò, 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.), *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

- 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>
- Guzey, S.S., Tank, K., Wang, H.-H., Roehrig, G., & Moore, T.J. (2014). A high-quality professional development for teachers of grades 3–6 for implementing engineering into classrooms. *School Science and Mathematics*, 114(3), 139-149. <https://doi.org/10.1111/ssm.12061>
- 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.), *Educational Robotics in the Makers Era. 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
- 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.
- Hall, G. (2013). Towards a post-digital humanities: Cultural analytics and the computational turn to data-driven scholarship. *American Literature*, 85(4), 781–809. <http://dx.doi.org/10.1215/00029831-2367337>
- 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>
- Hartmann, S., Wiesner, H., & Wiesner-Steiner, A. (2007). Robotics and gender: the use of robotics for the empowerment of girls in the classroom. In I. Zorn, S. Maass, E. Rommes, C. Schirmer, & H. Schelhowe (Eds.), *Gender Designs IT. Construction and Deconstruction of Information Society Technology*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften (pp. 175-188). https://doi.org/10.1007/978-3-531-90295-1_12
- 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>
- Heitink, M., Voogt, J., Verplanken, L., van Braak, J., & Fisser, P. (2016). Teachers’ professional reasoning about their pedagogical use of technology. *Computers & Education*, *101*, 70–83.
- 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.
- Highfield, K., Mulligan, J., & Hedberg, J. (2008). Early Mathematics Learning Through Exploration With Programable Toys. In O. Figueras, J.L. Cortina, S., Alatorre, T. Rojano, & A. Sepulveda (Eds.), *Proceedings of the Joint Meeting of Psychology of Mathematics Education 32 and Psychology of Mathematics Education-North American Chapter* (Vol. 3. pp. 169-176). México: Cinvestav-UMSNH.
- Hlubinka, M., Dougherty, D., Thomas, P., Chang, S., Hoefer, S., Alexander, I., & McGuire, D. (2013). *Makerspace Playbook: School Edition*. Disponible in: <http://makered.org/wp-content/uploads/2014/09/Makerspace-Playbook-Feb-2013.pdf> [31.10.2022]
- 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. Disponible in: <http://digitalcommons.unl.edu/archthesis/181> [31.10.2022]
- 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>
- Hung, W. (2019). Problem design in PBL. In M. Moallem, W. Hung, & N. Dabbagh (Eds.), *The Wiley handbook of Problem-based learning* (pp. 249-272). Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.

- Hussain, S., Lindh, J., & Shukur, G. (2006). The effect of LEGO training on pupils' school performance in mathematics, problem solving ability and attitude: Swedish data. *Educational Technology and Society*, 9(3), 182-194. Disponibile in: <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.9.3.182> [31.10.2022]
- Hwang, W.Y., & Wu, S.Y. (2014). A case study of collaboration with multi-robots and its effect on children's interaction. *Interactive Learning Environments*, 22(4), 429-443. Disponibile in: <https://www.learntechlib.org/p/152848/> [31.10.2022]
- 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>
- INDIRE (2016a). *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 [31.10.2022]
- INDIRE (2016b). *Competenze digitali e fabbisogni formativi dei docenti. Report sintetico di monitoraggio e analisi delle competenze digitali e dei nuovi fabbisogni formativi dei docenti che hanno partecipato alle azioni del PON 2007-2013 nelle Regioni "Obiettivo Convergenza" (Campania, Sicilia, Puglia, Calabria)*. Firenze. Disponibile in: https://www.miur.gov.it/documents/20182/6080206/rapporto_indire_Competenze_digitali_Rapporto_DOCENTI.pdf/57d66dff-947d-4587-9c45-356c53c6562d?version=1.0 [31.10.2022]
- 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>
- Jayemanne, D., Apperley, T., & Nansen, B. (2016). Postdigital play and the aesthetics of recruitment. *Transactions of the Digital Games Research Association*, 2(3), 145–172. Disponibile in: <http://todigra.org> [31.10.2022]
- 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. Disponible in: <http://cdn.nmc.org/media/2015-nmc-horizon-report-k12-EN.pdf> [31.10.2022]
- Jonassen, D.H. (Ed.). (2017). *Learning to solve complex scientific problems*. New York, NY: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315091938>
- Jónsdóttir, S.R. (2017). Innovation and Entrepreneurial Education (IEE) and Makerspaces. 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. Jornt, S.H. Kjartansdóttir, K. Pahl *et al.* (Eds.), *Makerspaces in the Early Years: A Literature Review* (pp. 21-25). Sheffield: University of Sheffield.
- Julià, C., & Antolí, J.Ò. (2016). Spatial ability learning through educational robotics. *International Journal of Technology and Design Education* volume, 26, 185–203. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9307-2>
- Kamga, R., Romero, M., Komis, V., & Mirsili, A. (2017). Design Requirements for Educational Robotics Activities for Sustaining Collaborative 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. 225-228). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9_18
- 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.
- Kazakoff, E.R., & Bers, M.U. (2014). Put your robot in, put your robot out: Sequencing through programming robots in early childhood. *Journal of Educational Computing Research*, 50(4), 553–573. <https://doi.org/10.2190/EC.50.4.f>
- 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
- 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>
- Kolarevic, B. (2008). Architecture in the Post-Digital Age: Towards Integrative Design. In *Architecture in Computro: 26th eCAADe Conference Proceedings* (pp. 653-658). Antwerp, Belgium. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2008.653>
- Kolb, D.A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kolberg, E., & Orlev, N. (2001, October). Robotics learning as a tool for integrating science technology curriculum in K-12 schools. In *31st Annual Frontiers in Education Conference. Impact on Engineering and Science Education. Conference Proceedings* (Cat. No. 01CH37193) (Vol. 1, pp. T2E-12). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE.2001.963888>
- Kolmos, A., Du, X., Holgaard, J.E., & Jensen, L.P. (2008). *Facilitation in a PBL environment*. Aalborg: UCPBL UNESCO Chair in Problem Based Learning.
- Komis, V., & Misirli, A. (2016). The environments of educational robotics in Early Childhood Education: towards a didactical analysis. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 3(2), 238-246.
- 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
- Kostakis, V., Niaros, V., & Giotitsas, C. (2015). Open source 3D printing as a means of learning: an educational experiment in two high schools in Greece. *Telematics and Informatics*, 32(1), 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2014.05.001>
- Krueger, R.A. (2002). *Designing and Conducting Focus Group Interviews*. Disponible in: <https://www.eiu.edu/ihec/Krueger-FocusGroupInterviews.pdf> [31.10.2022]
- 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. Jorner, S.H. Kjartansdóttir, K. Pahl *et al.* (Eds.), *Makerspaces in the Early Years: A Literature Review* (pp. 12-16). Sheffield: University of Sheffield.
- 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>
- Lamb, J., Carvalho, L., Gallagher, M., & Knox, J. (2022). The Postdigital Learning Spaces of Higher Education. *Postdigital Science and Education*, 4, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s42438-021-00279-9>
- 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>
- Lee, Y., & Lee, J. (2014). Enhancing pre-service teachers' self-efficacy beliefs for technology integration through lesson planning practice. *Computers & Education*, 73, 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.01.001>
- 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>
- Lefebvre, H. (1991) *The Production of Space*. Oxford: Blackwell.
- 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

- 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>
- Mahadzir, N.N., & Phung, L.F. (2013). The Use of Augmented Reality Pop-Up Book to Increase Motivation in English Language Learning For National Primary School. *Journal of Research & Method in Education*, 1(1), 26-38. <https://doi.org/10.9790/7388-0112638>
- Malaguzzi, L. (1995). *I cento linguaggi dei bambini*. Bergamo: Edizioni Junior.
- Mallik, A., Rajguru, S.B., & Kapila, V. (2018, June). Fundamental: Analyzing the effects of a robotics training workshop on the self-efficacy of high school teachers. In *2018 ASEE Annual Conference & Exposition*. Salt Lake City, Utah. <https://doi.org/10.18260/1-2--30548>
- 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/> [31.10.2022]
- Manches, A., & Plowman, L. (2017). Computing education in children's early years: A call for debate. *British Journal of Educational Technology*, 48(1), 191-201. <https://doi.org/10.1111/bjet.12355>
- 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), 221-233. <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 [31.10.2022]
- Master, A., Cheryan, S., Moscatelli, A., & Meltzoff, A.N. (2017). Programming experience promotes higher STEM motivation among first-grade girls. *Journal of Experimental Child Psychology*, 160, 92-106. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.03.013>
- 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>
- Menekse M., Higashi R., Schunn C.D., & Baehr, E. (2017). The role of robotics teams' collaboration quality on team performance in a robotics tournament. *Journal of Engineering Education*, 106(4), 564-584. <https://doi.org/10.1002/jee.20178>
- 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), 6–6. Disponibile in: <http://www.jstor.org/stable/26389179> [31.10.2022]

- 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> [31.10.2022]
- 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> [31.10.2022]
- MIUR (2015b). *Piano Nazionale Scuola Digitale*. Disponibile in: https://www.istruzione.it/scuola_digitale/allegati/Materiali/pnsd-layout-30.10-WEB.pdf [31.10.2022]
- MIUR (2018). *Indicazioni nazionali e nuovi scenari*. Disponibile in: <https://www.miur.gov.it/documents/20182/0/Indicazioni+nazionali+e+nuovi+scenari/> [31.10.2022]
- 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 [31.10.2022]
- 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.
- Moore, T.J., Glancy, A.W., Tank, K.M., Kersten, J.A., Smith, K.A., & Stohlmann, M.S. (2014). A Framework for Quality K-12 Engineering Education: Research and Development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 4(1), Article 2. <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1069>
- Moro, M., Alimisis, D., & Iocchi, L. (2018). Preface. In M. Moro, D. Alimisis, & L. Iocchi (Eds.), *Edurobotics 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 946 (pp. v-vi). Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18141-3>

- Mosa E., & Tosi L. (2018). From classroom to learning environment. The INDIRE project on school building design. *Iprase*, 10(1), 89-116.
- Mota, C. (2011, November). The rise of personal fabrication. In *Proceedings of the 8th ACM Conference on Creativity and Cognition* (pp. 279–288). ACM.
- Müller, K. & Aich, R. (2019) Indian post-digital aesthetics. *Visual Ethnography*, 8(2), 155–168.
- 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.
- Negrini, L. (2019). Teacher Training in Educational Robotics. An Experience in Southern Switzerland: The PReSO Project. In W. Lepuschitz, M. Merdan, G. Koppensteiner, R. Balogh, & D. Obdrzalek (Eds.), *Robotics in Education: Methods and Applications for Teaching and Learning* (pp. 92-97). Berlin: Springer.
- Negrini, L. (2020). Teachers' attitudes towards educational robotics in compulsory school. *Italian Journal of Educational Technology*, 28(1), 77-90. <https://doi.org/doi:10.17471/2499-4324/1136>
- Negroponete, N. (1998, December 1). Beyond digital. *Wired*, 6(12), 288. Disponibile in: <http://www.wired.com/wired/archive/6.12/negroponete.html> [31.10.2022]
- 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>
- Ng, O-L., & Ferrara, F. (2020). Towards a Materialist Vision of 'Learning as Making': the Case of 3D Printing Pens in School Mathematics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18, 925-944. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-10000-9>
- Ng, O-L., Shi, L., & Ting, F. (2020). Exploring differences in primary students' geometry learning outcomes in two technology-enhanced environments: dynamic geometry and 3D printing. *International Journal of STEM Education*, 7, 50. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00244-1>
- Ng, O-L. & Ye, H. (2022). Mathematics learning as embodied making: primary students' investigation of 3D geometry with handheld 3D printing technology. *Asia Pacific Education Review*, 23, 311–323. <https://doi.org/10.1007/s12564-022-09755-8>
- 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.
- Norman, D. (1995). *Le cose che ci fanno intelligenti*. Milano: Feltrinelli.
- Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N., & Adamchuk, V.I. (2010). Impact of robotics and geospatial technology interventions on youth STEM learning and attitudes. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(4), 391-408. <https://doi.org/10.1080/15391523.2010.10782557>
- Nugent, G.C., Barker, B.S., & Grandgenett, N. (2014). The Impact of Educational Robotics on Student STEM Learning, Attitudes, and Workplace Skills. In I. Management Association (Ed.), *Robotics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 1442-1459). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4607-0.ch070>
- 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
- OECD (2010). *Inspired by Technology, Driven by Pedagogy: A Systemic Approach to Technology-Based School Innovations*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264094437-en>
- OECD (2019). *TALIS 2018 Results (Volume I): Teachers and School Leaders as Lifelong Learners*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/1d0bc92a-en>
- OECD (2022). What makes students' access to digital learning more equitable? *Teaching in Focus*, 43. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/e8107345-en>
- 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. <http://doi.org/10.4018/IJLIS.20210701.oa15>
- 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> [31.10.2022]
- Openshaw, J. (2015) *Postdigital Artisans: Craftsmanship with a New Aesthetic in Fashion, Art, Design and Architecture*. Amsterdam: Frame Publishers.
- Operto, S. (2021). La macchina e il robot. Presupposti cognitivi all'utilizzo della robotica in ambito educativo. In G. Bozzi, L. Zecca, & E. Datteri (Eds.), *Interazione Bambini-Robot. Riflessioni Teoriche, Risultati Sperimentali, Esperienze* (pp. 102-119). Milano: FrancoAngeli.
- 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>
- 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>

- Papavlasopoulou, 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. (1972). Teaching children to be mathematicians versus teaching about mathematics. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 3(3), 249–262.
- 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.
- Parmaxi, A. (2020). Virtual reality in language learning: A systematic review and implications for research and practice. *Interactive Learning Environments*, 1-13. <http://doi.org/10.1080/10494820.2020.1765392>
- Parola, A., Vitti, E.L., Sacco, M.M., & Trafeli, I. (2021). Educational Robotics: From Structured Game to Curricular Activity in Lower Secondary Schools. 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. 223-228). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_29
- 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.
- Pat-El, R.J., Tillema, H., Segers, M., & Vedder, P. (2015). Multilevel predictors of differing perceptions of assessment for learning practices between teachers and students. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 22(2), 282-298. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2014.975675>
- 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>
- Penuel, W.R., & Fishman, B.J. (2012). Large-scale intervention research we can use. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(3), 281–304. <https://doi.org/10.1002/tea.21001>
- Penuel, W.R., Confrey, J., Maloney, A., & Rupp, A.A. (2011, April). Design decisions in developing assessments of learning trajectories: A case study. *Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association*, New Orleans, LA.
- Penuel, W.R., Tatar, D., & Roschelle, J. (2004). The role of research on contexts of teaching practice in informing the design of handheld learning technologies. *Journal of Educational Computing Research*, 30(4), 331–348.
- 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 [31.10.2022]
- 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'image 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>
- Pivetti, M., Di Battista, S., Agatolio, F., Simaku, B., Moro, M., & Menegatti, E. (2020). Educational robotics for children with neurodevelopmental disorders: a systematic review. *Heliyon*, 6(10), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05160>
- Prist, M., Cavanini, L., Longhi, S., Monteriù, A., Orteni, D., & Freddi, A. (2014, September). A low cost mobile platform for educational robotic applications. In *2014 IEEE/ASME 10th International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Psara, E., & Christodoulidou, C. (2019). Robotics in language learning: an exploratory study using the bee-bot. In L. Gómez Chova, A. López Martínez, & I. Candel Torres (Eds.), *INTED2019 Proceedings* (pp. 8675-8682). Valencia: IATED Academy. <https://doi.org/10.21125/inted.2019.2166>
- Ranieri, M. (2011). *Le insidie dell'ovvio*. Pisa: ETS.
- 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, vol 240 (pp. 81-85). Cham: Springer. 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. In B. van Abel, R. Klaassen, L. Evers, & P. Troxler (Eds.), *Open design now: why design cannot remain exclusive* (pp. 202-209). Amsterdam: BIS Publisher. Disponibile in: <http://opendesignnow.org/> [31.10.2022]
- Reddy, C., Le Grange, L., Beets, P. & Lundie, S. (2015). *Quality assessment in South African schools*. Cape Town: Juta.

- 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. (2007). All I really need to know (about creative thinking) I learned (by studying how children learn) in kindergarten. In *Proceedings of the 6th ACM SIGCHI conference on Creativity & cognition (C&C '07)* (pp. 1–6). New York, NY: ACM. <https://doi.org/10.1145/1254960.1254961>
- Resnick, M. (2017). *Lifelong kindergarten: Cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*. Cambridge, MA: MIT press.
- Ricciardi S., Rini S., & Villa F. (2021). Officina Degli Errori: An Extended Experiment to Bring Constructionist Approaches to Public Schools in Bologna. 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. 165–171). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_22
- 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: Scholè.
- Rivoltella, P.C., & Rossi, P.G. (2019). *Il corpo e la macchina. Tecnologia, cultura, educazione*. Brescia: Scholè.
- Robbins, P.N., & Smith, S. (2016). Robo/graphy: Using Practical Arts-Based Robots to Transform Classrooms Into Makerspaces. *Art Education*, 69(3), 44-51. <https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1158593>
- 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>
- Romero, M., & Kamga, R. (2016, April). Usages de la robotique pédagogique en éducation primaire selon son intégration disciplinaire et le développement des compétences du 21e siècle. *Paper presented at the Intelligences numériques / Digital Intelligence 2016*, Québec, QC.
- 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>
- Rosenski, D., & Palatnik, A. (2022, February). Secondary students' experience using 3D pen in spatial geometry: affective states while problem solving. *Paper presented at the Twelfth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME12)*, Bolzano.

- Rossi, P.G. (2011). *Didattica Enattiva. Complessità, teorie dell'azione, professionalità docente*. Milano: FrancoAngeli.
- Rossi, P.G. (2019). L'ambiente digitale come terzo spazio nella didattica universitaria. In P. Federighi, M. Ranieri, & G. Bandini (Eds.), *Digital scholarship tra ricerca e didattica. Studi, ricerche, esperienze* (pp. 40-52). 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>
- Rossi, P.G. & Pentucci, M. (2021). *La progettazione come azione simulata. Didattica dei processi e degli eco-sistemi*. Milano: Franco Angeli.
- 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> [31.10.2022]
- Royal Academy of Engineering (2017). *Closing the STEM skills gap*. Disponibile in: <https://www.raeng.org.uk/publications/responses/closing-the-stem-skills-gap> [31.10.2022]
- Ruzzenente, M., Koo, M., Nielsen, K., Grespan, L., & Fiorini, P. (2012). A Review of Robotics Kits for Tertiary Education. In *Proceedings of 3rd International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics Integrating Robotics in School Curriculum* (pp. 153-162).
- 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>
- Saettone, 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> [31.10.2022]
- Santos, I., Grebogy, E.C., & de Medeiros, L.F. (2019). Crab Robot: A Comparative Study Regarding the Use of Robotics in STEM Education. In Daniela, L. (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 183-198). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_7

- Saorín, J.L., Bonnet de León, A., Meier, C., & de la Torre-Cantero, J. (2018). Retrato tridimensional mediante la utilización de tecnologías de fabricación digital de bajo coste en entornos educativos. *Arte, Individuo y Sociedad*, 30(2), 295-309. <https://doi.org/10.5209/ARIS.56796>
- 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. (2019a). 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
- 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
- Scaradozzi, D., Screpanti, L., Cesaretti, L., Storti, M., & Mazzieri, E. (2019b). Implementation and assessment methodologies of teachers' training courses for STEM activities. *Technology, Knowledge and Learning*, 24, 247–268. <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9356-1>
- 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>
- Schelhowe, H. (2013) Digital realities, physical action and deep learning: FabLabs as educational environments? In J. Walter-Herrmann, & C. Büching (Eds.), *FabLab: Of Machines, Makers and Inventors* (pp. 93-104). Bielefeld: Transcript. <https://doi.org/10.14361/transcript.9783839423820.93>
- Schmidt, H.G., Rotgans, J.I., & Yew, E. (2011). The process of problem-based learning: What works and why. *Medical Education*, 45(8), 792-806. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2923.2011.04035.x>
- 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.
- 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
- 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

- Schulz, T.J. (2019). *A Comparison of High-Tech and Low-Tech Response Modalities to Improve Student Performance and Classroom Behavior*. Master of Science Thesis, University of South Florida. Disponibile in: <https://digitalcommons.usf.edu/etd/7929> [31.10.2022]
- 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., Marchetti, L., Baione, A., Natalucci, I.N., & Scaradozzi, D. (2018). An educational robotics activity to promote gender equality in STEM education. In *Proceedings of the eighteenth International Conference on Information, Communication Technologies in Education (ICICTE 2018)* (pp. 336–346). Chania, Crete, Greece.
- 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
- 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
- Segovia, M.V., & de S. Souza, A.A. D.S. (2018, November). Educational Robotics as a Motivational Tool for the English Teaching-Learning Process for Children. In *2018 Latin American Robotic Symposium, 2018 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2018 Workshop on Robotics in Education (WRE)* (pp. 585-590). IEEE. <https://doi.org/10.1109/LARS/SBR/WRE.2018.00106> .
- Seitamaa-Hakkarainen, P., Viilo, M., & Hakkarainen, K. (2010). Learning by collaborative design: Technology enhanced knowledge practices. *International Journal of Technology and Design Education*, 20(2), 109–136. <http://dx.doi.org/10.1007/s10798-008-9066-4>
- Shatunova, O., Anisimova, T., Sabirova, F., & Kalimullina, O. (2019). STEAM as an Innovative Educational Technology. *Journal of Social Studies Education Research*, 10(2), 131-144. Disponibile in: <https://www.learntechlib.org/p/216582/> [31.10.2022]
- Sheffield, R., Koul, R., Blackley, S., & Maynard, N. (2017). Makerspace in STEM for girls: A physical space to develop twenty-first-century skills. *Educational Media International*, 54(2), 148-164. <https://doi.org/10.1080/09523987.2017.1362812>
- 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.brr34733723j648u>
- 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 semplice. *Pedagogia Oggi*, 1, 327-334.
- Skinner, B.F. (1968). *The technology of teaching*. New York, NY: Appleton-Century-Crofts.
- Slavin, R.E. (2012). *Education psychology: Theory and practice (10th ed.)*. Boston, MA: Pearson.
- So, H.J., & Kim, B. (2009). Learning about problem based learning: student teachers integrating technology, pedagogy and content knowledge. *Australasian Journal of Educational Technology*, 25(1), 101-116. <https://doi.org/10.14742/ajet.1183>
- Song, Y., Hu, Z., Gehringer, E.F., Morris, J., Kidd, J., & Ringleb, S. (2016). *Toward Better Training in Peer Assessment: Does Calibration Help? Paper presented at the CSPRED 2016: Computer-Supported Peer Review in Education*, Raleigh, NC.
- 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>
- Stein, M.K., & Coburn, C.E. (2008). Architectures for learning: A comparative analysis of two urban school districts. *American Journal of Education*, 114(4), 583-626. <https://doi.org/10.1086/589315>
- Stergiopoulou, M., Karatrantou, A., & Panagiotakopoulos, C. (2017). Educational Robotics and STEM Education in Primary Education: A Pilot Study Using the H&S Electronic Systems Platform. In D. Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti (Eds.), *Edurobotics in the Makers Era. Edurobotics 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 560 (pp. 88-103). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9_7

- 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>
- Sullivan, A., & Bers, M.U. (2018). Dancing robots: integrating art, music, and robotics in Singapore’s early childhood centers. *International Journal of Technology and Design Education*, 28(2), 325-346. <https://doi.org/10.1007/s10798-017-9397-0>
- 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>
- Surendeleq, G., Murwa, V., Yun, H., & Kim, Y.S. (2014). The Role of Gamification in Education: A Literature Review. *Contemporary Engineering Sciences*, 7(29), 1609-1616. <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2014.411217>
- Sutiah, S., Slamet, S., Shafqat, A., & Supriyono, S. (2020). Implementation of distance learning during the COVID-19 in Faculty of Education and Teacher Training. *Cypriot Journal of Educational Science*, 15(5), 1204-1214. <https://doi.org/10.18844/cjes.v15i5.5151>
- Taffel, S. (2016). Perspectives on the postdigital: Beyond rhetorics of progress and novelty. *Convergence*, 22(3), 324-338. <https://doi.org/10.1177/1354856514567827>
- Tai, J., Ajjawi, R., Boud, D., Dawson, P., & Panadero, E. (2018). Developing evaluative judgement: enabling students to make decisions about the quality of work. *Higher Education*, 76(3), 467-481. <https://doi.org/10.1007/s10734-017-0220-3>
- 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.
- Tegon, R., & Labbri, M. (2021). Growing Deeper Learners. How to Assess Robotics, Coding, Making and Tinkering Activities for Significant 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. 261-267). Cham: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_35
- 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 [31.10.2022]
- The University of Sheffield (2021). *Types of Makerspaces in Schools*. Disponibile in:
<https://www.futurelearn.com/info/courses/makerspaces-for-learning/0/steps/225499> [31.10.2022]
- Traverso, A., & Pennazio, V. (2013). Bambini, robot: esperienze educative di gioco e relazione. *RELAdEI – Revista Latinoamericana de Educaciòn Infantil*, 3(2), 189-205.
- Truchly, P., Medvecký, M., Podhradský, P., & Vančo, M. (2018). Virtual Reality Applications in STEM Education. In *2018 16th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA)* (pp. 597-602). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICETA.2018.8572133>
- 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>
- Tsivitanidou, 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>
- Turner, S., & Hill, G. (2007). Robots in problem-solving and programming. In H. White (Ed.), *Proceedings of 8th Annual Conference of the Subject Centre for Information and Computer Sciences* (pp. 82-85). Ulster: Higher Education Academy, Subject Centre for Information and Computer Sciences. <https://doi.org/10.13140/2.1.2425.6800>
- 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>
- Tyack, D., & Cuban, L. (1995). *Tinkering toward utopia: A century of public school reform*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- 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.
- 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 [31.10.2022]

- 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.
- 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.
- Vollstedt A., Robinson M., & Wang E. (2007). Using Robotics to Enhance Science, Technology, Engineering, and Mathematics Curricula. In *Proceedings of American Society for Engineering Education Pacific Southwest annual conference*. Honolulu: Hawaii.
- 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>
- Vuorikari, R., Ferrari, A., & Punie, Y. (2019). *Makerspaces for Education and Training: Exploring future implications for Europe* (No. JRC117481). Joint Research Centre (Seville site).
- Vygotsky, L.S. (1968). *Thought and language*. Cambridge, MA: M.I.T. Press.
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Vygotsky, L.S. (1980). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92784-6>
- 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, S.K., Hsu, H.Y., Campbell, T., Coster, D.C., & Longhurst, M. (2014). An investigation of middle school science teachers and students use of technology inside and outside of classrooms: Considering whether digital natives are more technology savvy than their teachers. *Educational Technology Research and Development*, 62(6), 637–662. <https://doi.org/10.1007/s11423-014-9355-4>
- 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>
- Weinbaum, S.G. (1935, June). Pygmalion's Spectacles. In H. Gernsback (Ed.), *Wonder Stories* (p. 28). New York, NY: Continental Publications, Inc.

- Wigfield, A., & Eccles, J.S. (2000). Expectancy-value theory of achievement motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 68-81. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1015>
- 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
- Winn, W. (1993). *A Conceptual Basis for Educational Applications of Virtual Reality* (HITL Report No. R-93-9): Seattle, WA: University of Washington, Human Interface Technology Laboratory.
- 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 [31.10.2022]
- 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
- Yang, Y., Long, Y., Sun, D., Van Aalst, J., & Cheng, S. (2020). Fostering students' creativity via educational robotics: An investigation of teachers' pedagogical practices based on teacher interviews. *British Journal of Educational Technology*, 51, 1826-1842. <https://doi.org/10.1111/bjet.12985>
- 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> [31.10.2022]
- Zecca, L. (2021). The game of thinking. Interactions between children and robots in educational environments. 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. 87-94). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77040-2_12
- Zecca, L. & Bozzi, G. (2021). Tutoring nella programmazione robotica: prime esplorazioni con Cubetto nella scuola dell'infanzia. In G. Bozzi, L. Zecca, & E. Datteri (Eds.), *Interazione Bambini-Robot. Riflessioni Teoriche, Risultati Sperimentali, Esperienze* (pp. 251-273). Milano: FrancoAngeli.
- 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>

Appendici

Appendice A

Questionario 1 (Q1)

ISTRUZIONI:

Nelle pagine che stai leggendo troverai una lista di frasi. Scegli la tua risposta tra le opzioni presenti selezionando quella che più rispecchia il tuo pensiero sulle frasi.

Esempio:

	Molto in disaccordo	In disaccordo	Né d'accordo, né in disaccordo	D'accordo	Molto d'accordo
Mi piace Ingegneria	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Nel leggere la frase saprai se sei d'accordo o non sei d'accordo con quanto stai leggendo. Riempi o metti una croce sul cerchietto sotto la categoria che meglio descrive quanto sei d'accordo o non sei d'accordo.

Anche se alcune frasi sono molto simili tra loro, rispondi ad ogni frase. Non ci sono limiti di tempo per rispondere al questionario. Lavora velocemente, ma con attenzione.

Non ci sono risposte "giuste" o "sbagliate"! Le uniche risposte giuste sono quelle che sono vere *per te*. Dove possibile, lascia che qualcosa che ti è capitato ti aiuti a decidere quale risposta è la più giusta per te.

DAI UNA SOLA RISPOSTA PER OGNI FRASE

Matematica

	Molto in disaccordo	In disaccordo	Né d'accordo, né in disaccordo	D'accordo	Molto d'accordo
Q1. Matematica è la materia in cui vado peggio (R)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q2. Farei studi o lavori che usino la matematica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q3. La matematica è difficile per me (R)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q4. Io sono il tipo di studente che in matematica va bene	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q5. Vado bene nella maggior parte delle materie ma in matematica non riesco bene (R)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q6. Sono sicuro/a di poter fare un lavoro che usi la matematica a livello avanzato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q7. Posso ottenere buoni voti in matematica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q8. Sono bravo/a in matematica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Scienze

	Molto in disaccordo	In disaccordo	Né d'accordo, né in disaccordo	D'accordo	Molto d'accordo
Q9. Mi sento sicuro/a di me stesso/a quando faccio scienze	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q10. Prenderei in considerazione un lavoro nel campo delle scienze	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q11. Mi aspetto di usare le scienze dopo il mio percorso di studio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q12. Conoscere le scienze mi aiuterà a guadagnarmi da vivere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q13. Mi servirà conoscere le scienze per il mio futuro lavoro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q14. So di poter esser bravo/a in scienze	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q15. Le scienze saranno importanti nel lavoro che vorrei fare	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q16. Vado bene nella maggior parte delle materie, ma in scienze non riesco bene (R)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q17. Sono sicuro/a di poter fare un lavoro che usi le scienze a livello avanzato	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ingegneria e tecnologia

Prima di rispondere alle domande leggi le righe riportate qui di seguito.

Gli **ingegneri** usano la matematica, la scienza e la creatività per risolvere dei problemi che migliorano la vita di tutti e per inventare nuovi prodotti. Gli ingegneri progettano e migliorano le cose come i ponti, le auto, le macchine, il cibo e i giochi per il computer. I

tecnici costruiscono, verificano e mantengono (o curano) i progetti che gli ingegneri sviluppano.

	Molto in disaccordo	In disaccordo	Né d'accordo, né in disaccordo	D'accordo	Molto d'accordo
Q18. Mi piace immaginare di creare nuovi prodotti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q19. Se studierò ingegneria, potrò migliorare le cose che la gente usa tutti i giorni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q20. Sono bravo/a a costruire o riparare le cose	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q21. Mi interessa sapere come funziona una macchina, un dispositivo, un apparato, ecc.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q22. Progettare prodotti o strutture sarà importante nel mio lavoro futuro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q23. Sono curioso/a di sapere come funziona l'elettronica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q24. Mi piacerebbe usare la creatività e l'innovazione nel mio futuro lavoro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q25. Sapere come usare la matematica e le scienze insieme mi consentirà di inventare cose utili	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q26. Credo che io potrò avere successo in un lavoro nel campo dell'ingegneria	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abilità del XXI secolo

	Molto in disaccordo	In disaccordo	Né d'accordo, né in disaccordo	D'accordo	Molto d'accordo
Q27. Sono sicuro/a che posso guidare altri al raggiungimento di un obiettivo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q28. Sono sicuro/a che posso incoraggiare gli altri a dare il meglio di sé	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q29. Sono sicuro/a che posso produrre lavori di alta qualità	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q30. Sono sicuro/a che posso rispettare le differenze dei miei compagni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q31. Sono sicuro/a che posso aiutare i miei compagni	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q32. Sono sicuro/a che posso tenere in considerazione i punti di vista degli altri quando prendo una decisione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q33. Sono sicuro/a che posso fare dei cambiamenti quando le cose non vanno come previsto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q34. Sono sicuro/a che posso stabilire i miei obiettivi di studio da solo/a	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q35. Sono sicuro/a che posso organizzare bene il mio tempo quando lavoro da solo/a	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q36. Quando ho molti compiti, sono in grado di scegliere quali devono esser fatti per primi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q37. Sono sicuro/a che posso lavorare bene con altri studenti che hanno conoscenze, competenze ed esperienze differenti dalle mie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Appendice B

Questionario 2 (Q2)

ISTRUZIONI:

Le affermazioni del questionario descrivono alcune situazioni che possono essere difficili da affrontare. Leggi attentamente ogni informazione e indica quanto ti senti capace di affrontare ciascuna situazione descritta, mettendo una crocetta sul numero corrispondente alla tua esperienza. **Non ci sono risposte “giuste” o “sbagliate”, la migliore risposta è la più spontanea.**

Quanto sei bravo/a:


	Per nulla capace	Poco capace	Mediamente capace	Molto capace	Del tutto capace
Q1. Nell'imparare la matematica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q2. Nell'imparare la geografia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q3. Nell'imparare le scienze	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q4. Nell'imparare l'italiano	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q5. Nell'imparare la grammatica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q6. Nell'imparare la storia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q7. Nell'imparare le lingue straniere	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Quanto sei capace di:

	Per nulla capace	Poco capace	Mediamente capace	Molto capace	Del tutto capace
Q8. Finire in tempo i compiti che ti sono stati assegnati per casa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q9. Impegnarti nello studio quando hai altre cose interessanti da fare	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q10. Concentrarti nello studio senza farti distrarre	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q11. Prendere appunti delle spiegazioni dell'insegnante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q12. Fare le ricerche che ti vengono assegnate utilizzando altri libri (che puoi trovare a casa, in biblioteca, ecc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q13. Organizzarti nello svolgimento delle attività scolastiche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q14. Programmare le tue attività scolastiche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Q15. Ricordare ciò che l'insegnante ha spiegato in classe e ciò che hai letto sui libri	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q16. Trovarti un posto dove studiare senza essere distratto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q17. Interessarti alle materie scolastiche	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q18. Soddisfare i desideri dei tuoi genitori su quello che si aspettano da te	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Q19. Soddisfare le richieste dei tuoi insegnanti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Appendice C

 Il mio Diario di Bordo	
Obiettivo n. :	Data:
Sfida:	
Progettazione-Svolgimento	
Nomi del gruppo:	
Conclusioni – Riflessioni finali	
1. Ho compreso la sfida?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
2. Ho saputo utilizzare informazioni-materiali utili a risolvere la sfida?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
3. Ho risolto la sfida?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
4. Ho lavorato bene in gruppo?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
5. Ho testato la mia soluzione e l'ho migliorata?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
6. Ho saputo comunicare le mie idee in modo chiaro agli altri gruppi?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
7. Ho saputo controllare le mie emozioni durante il confronto con gli altri?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>
8. Cosa potrei fare meglio la prossima volta?	
9. Quanto mi è piaciuta questa attività? Perché?	<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>

Appendice D

DIMENSIONI	LIVELLI			
	Avanzato	Intermedio	Base	In via di prima acquisizione
Comprendere e gestire le fasi di lavoro: -comprende la consegna; -gestisce ed esegue le fasi.	Comprende, progetta e gestisce in modo autonomo le fasi operative del lavoro e si mostra capace e consapevole nell'esecuzione.	Comprende e gestisce le fasi operative del lavoro e si mostra capace nell'esecuzione.	Comprende e gestisce con il supporto di una guida le principali fasi operative del lavoro e si mostra capace nei più semplici passaggi esecutivi.	Comprende e gestisce le più semplici fasi operative con il supporto di una guida.
Individuare e selezionare informazioni e materiali: -ricerca informazioni pertinenti; -analizza e sceglie le informazioni. -analizza e sceglie i materiali da usare; -opera scelte consapevoli e attinenti al compito.	Individua e seleziona le informazioni e i materiali pertinenti in modo autonomo e sicuro, operando scelte critiche e consapevoli.	Individua e seleziona in modo autonomo informazioni e materiali pertinenti in riferimento a contesti noti e non noti.	Individua e seleziona in modo autonomo solo alcune informazioni e materiali pertinenti in riferimento a contesti noti.	Individua e seleziona informazioni e materiali pertinenti con il supporto di una guida.
Conoscere e utilizzare le principali procedure informatiche e multimediali: -conosce i principali motori di ricerca Internet e le modalità di accesso; -conosce e utilizza i più noti programmi di video-scrittura, coding e modellazione 3D; -conosce e utilizza kit tecnologici <i>low and high</i> .	Conosce e utilizza in modo autonomo e consapevole le principali procedure informatiche e multimediali. Riconosce e utilizza in modo autonomo, critico e innovativo programmi e kit.	Conosce e utilizza in modo autonomo le principali procedure informatiche e multimediali. Riconosce e utilizza in autonomia programmi e/o kit secondo modalità note e non note.	Conosce le principali procedure informatiche e multimediali, ma deve essere guidato nell'esecuzione pratica. Svolge semplici passaggi con programmi e/o kit secondo modalità note.	Necessita della guida costante dell'insegnante per riconoscere e gestire le principali procedure informatiche e multimediali e per utilizzare programmi e kit.
Conoscere e utilizzare il lessico specifico: -utilizza un linguaggio adatto; -organizza le informazioni in elaborati coerenti, curando l'efficacia comunicativa.	Elabora sintesi accurate, utilizzando in modo preciso e consapevole il lessico specifico. Organizza le informazioni con coerenza, consapevolezza ed efficacia comunicativa.	Elabora sintesi utilizzando un lessico specifico. Organizza le informazioni con coerenza ed efficacia comunicativa.	Elabora sintesi utilizzando un lessico generico. Organizza le informazioni senza focalizzarsi su coerenza ed efficacia comunicativa.	Elabora semplici sintesi e organizza le informazioni con il supporto di una guida.

<p>Parlare in pubblico: -padroneggia le tecniche di comunicazione; -controlla l'emozionalità; -risolve l'imprevisto.</p>	<p>Gestisce in autonomia e con sicurezza la presentazione. Ha un pieno controllo delle emozioni e risolve con prontezza gli imprevisti.</p>	<p>Gestisce in autonomia la presentazione. Controlla le emozioni e risolve gli imprevisti.</p>	<p>Gestisce la presentazione, ma riscontra difficoltà nel controllare le emozioni e/o nel gestire gli imprevisti.</p>	<p>Gestisce la presentazione e controlla le emozioni solo con il supporto di una guida.</p>
<p>Learning together: -rispetta compiti, ruoli e tempi; -sostiene e ascolta gli altri; -collabora.</p>	<p>Rispetta compiti, ruoli e tempi, sostiene in maniera costruttiva il lavoro degli altri, promuove collaborazione e ascolta i compagni in modo attivo.</p>	<p>Rispetta compiti, ruoli e tempi. Collabora e ascolta i compagni.</p>	<p>Con fatica rispetta compiti, ruoli e tempi; si mostra poco attivo nel collaborare e nell'ascoltare.</p>	<p>Ha un atteggiamento passivo. Necessita di una guida per rispettare impegni e tempi.</p>

Appendice E

Scaletta Focus Group

- (1) Accoglienza e presentazione moderatore e assistente del moderatore.
- (2) Panoramica dell'argomento.
- (3) Regole di base.
- (4) Domande:
 1. *Cominciamo con una breve presentazione, quindi nome, cognome, scuola, classe, discipline insegnate.*
 2. *Cosa pensa riguardo alla proposta e alla sua sostenibilità?*
 3. *Quali sono i maggiori limiti/problemi che evidenzia?*
 4. *Quali sono le principali ricadute positive?*
 5. *Come pensa che tale proposta permetta di migliorare la visione complessa legata alle discipline STEM?*
 6. *Come pensa che tale proposta permetta di superare le difficoltà connesse alla valutazione delle competenze?*
 7. *In base alle attività svolte, cosa pensa sia cambiato nel suo approccio e postura personale rispetto a robotica?*
 8. *In base alle attività svolte, quali elementi pensa siano cambiati nella sua didattica quotidiana?*
 9. *Quali azioni/strumenti pensa sia opportuno mettere in atto nelle prossime sperimentazioni per favorire una sua autonomia / efficacia nella tua attività didattica?*
 10. *Di tutte le cose che abbiamo discusso, qual è per lei la più importante?*

Appendice F

Prima di sperimentare (Ipotesi)

1. Come vanno connessi i fili del pannello ai fili del motore?

Rosso-rosso, nero-nero

Rosso-nero, nero-rosso

E ai gambi del led?

Rosso-gambo lungo, nero-gambo corto

Rosso-gambo corto, nero-gambo lungo

Perché?

2. Il pannello solare surriscaldato riuscirà a far azionare le pale del motore?

Sì

No

E il led?

Sì

No

Perché?

Pensi che la potenza (quantità di calore) della sorgente luminosa influisce sull'energia prodotta dai pannelli?

Sì

No

Se hai risposto sì, come?

3. Inclinazione: Se incliniamo il pannello solare di varie angolature la velocità di rotazione delle pale cambia?

Sì

No

E l'intensità di illuminazione del led?

Sì

No

Se hai risposto sì, come?

4. Distanza: Se allontaniamo il pannello solare dalla fonte luminosa la velocità di rotazione delle pale cambia?

Sì

No

E l'intensità di illuminazione del led?

Sì

No

Se hai risposto sì, come?

5. Colore: Se copriamo il pannello con un foglio blu, rosso o giallo (uno alla volta) la velocità di rotazione delle pale cambia?

- Sì
- No

Se hai risposto sì, come?

Annotazioni durante la sperimentazione (Verifica)

...

Dopo la sperimentazione (Confronto ipotesi-verifica)

Le vostre ipotesi sono state confermate?

- Sì
- No

Se hai risposto no, cosa non è andato come avevate previsto?
