Robotica educativa e funzioni esecutive

Fondamenti teorici, traiettorie di ricerca e orientamenti didattici

UNICApress/didattica

di
Arianna Marras

Il volume esplora, in chiave critica e multidimensionale, il ruolo della Robotica Educativa (RE) come leva strategica per l'innovazione didattica nei contesti scolastici. Muovendo da una solida cornice teorico-pedagogica–pensiero computazionale, costruzionismo e competenze del XXI secolo– analizza i fattori che abilitano od ostacolano l'integrazione della RE nella pratica didattica, con particolare attenzione agli atteggiamenti professionali e alle percezioni dei docenti, alle condizioni organizzative, didattico-pedagogiche e istituzionali. Attraverso l'implementazione e l'analisi di vari strumenti, il volume restituisce evidenze empiriche originali tratte da contesti formativi reali e documenta l'impatto della formazione in RE su quattro dimensioni chiave: autoefficacia, interesse per le STEM e la RE, collaborazione e capacità di *problem solving*. Completano il quadro una sezione operativa sulla progettazione inclusiva secondo i principi UDL, orientamenti didattici basati su evidenze e un repertorio di strumenti per l'osservazione e la valutazione dei percorsi laboratoriali. Ne emerge una tesi chiara: non è la tecnologia in sé a generare innovazione, ma la capacità delle comunità educative di trasformarla in occasione di crescita. Il volume si rivolge a, ricercatori, dirigenti scolastici, formatori, insegnanti e futuri docenti in formazione interessati a promuovere un uso consapevole, sostenibile, inclusivo e trasformativo della RE, offrendo criteri operativi e buone pratiche per un'implementazione sistematica nella scuola.

UNICApress / didattica

Robotica educativa e funzioni esecutive

Fondamenti teorici, traiettorie di ricerca e orientamenti didattici

di
Arianna Marras

Cagliari
UNICApress
2025

Questo volume è stato sottoposto a peer review

Robotica educativa e funzioni esecutive. Fondamenti teorici, traiettorie di ricerca e orientamenti didattici
di Arianna Marras

Sezione: Didattica

In copertina una immagine generata dall'autrice con ChatGPT 5.

© Arianna Marras
CC-BY 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

Cagliari, UNICApress, 2025 (http://unicapress.unica.it)

ISBN 978-88-3312-195-6 (versione online)
DOI: https://doi.org/10.13125/unicapress.978-88-3312-195-6

Alle bambine e ai bambini privi di banchi e di maestri,
a chi resta ai margini delle aule della conoscenza,
là dove i sogni aspettano finestre aperte:
che la scienza innalzi ponti verso l'infinito
e la tecnologia riveli nuovi orizzonti di senso.

Indice

Prefazione di Lucio Negrini 11

Introduzione 15

PARTE I - FONDAMENTI TEORICI 21

Capitolo 1 - La Robotica Educativa 23

1.1 Tecnologie digitali e sfide educative attuali 23

1.2 Definizione e inquadramento della robotica educativa 24

1.3 L'apprendimento mediato dalla robotica educativa 32

1.3.1 Robotica educativa e pensiero computazionale 32

1.3.2 Robotica educativa, STEM e abilità di pensiero 36

1.4 La Robotica educativa per l'inclusione 39

1.4.1 UDL: principi per la robotica educativa 40

1.4.1.1 Valutare la progettazione UDL: lo strumento UDL-OMT 42

1.4.1.2 Intelligenza Artificiale e UDL: sinergie per l'inclusione 44

1.4.2 Laboratorio di robotica come dispositivo inclusivo 46

Capitolo 2 - RE e Cognizione: il ruolo delle funzioni esecutive 51

2.1 Funzioni esecutive: definizione e ruolo 52

2.2 Promuovere le funzioni esecutive a scuola 58

2.2.1 Funzioni esecutive nei processi di apprendimento 60

2.2.2 Funzioni esecutive e BES: implicazioni didattiche 63

2.3 Potenziare le funzioni esecutive con la RE 65

Capitolo 3 - Robotica a scuola: opportunità e criticità 71

3.1 Robotica educativa in ambito scolastico 72

3.2 Un quadro per integrare la robotica educativa 74

3.2.1 Modelli e metodologie per sostenere la RE 78

3.2.2 Verso una tassonomia di robot, interfacce ed esperienze 86

3.2.3 Strumenti e modalità di valutazione 95

3.2.3.1 Il questionario RIQ: costrutti e uso 100

3.3 Percezioni e atteggiamenti degli attori 104

3.3.1 Studenti 106

3.3.2 Genitori 110

3.3.3 Docenti 113

3.4 Formazione degli insegnanti 115

3.4.1 Formazione universitaria 116

3.4.2 Formazione in servizio 120

PARTE II - TRAIETTORIE DI RICERCA E STRUMENTI 125

Capitolo 4 - Funzionamento esecutivo e percezioni degli studenti 127

4.1 Evidenze da alcune ricerche italiane 127

4.1.1 Metodologia e disegno sperimentale 129
4.1.2 Partecipanti 130
4.1.3 Procedura di ricerca 132
4.1.4 Strumenti di ricerca 132
4.1.4.1 Valutazione del funzionamento esecutivo 133
4.1.4.2 Valutazione del ragionamento aritmetico e dimensioni didattico-percettive 134
4.1.5 Protocollo: ambiente e clima nei laboratori di RE 135
4.1.6 Analisi dei dati 137
4.1.7 Risultati 137

4.2 Evidenze da alcune ricerche svizzere 143
4.2.1 Metodologia e disegno sperimentale 144
4.2.2 Partecipanti 144
4.2.3 Procedura di ricerca 145
4.2.4 Strumenti di ricerca 145
4.2.4.1 Strumenti videoludici per il funzionamento esecutivo 145
4.2.4.2 Valutazione docente del funzionamento esecutivo 146
4.2.4.3 Percezione degli studenti sui laboratori di RE 146
4.2.5 Protocollo: i laboratori di RE 147
4.2.6 Analisi dei dati 149
4.2.7 Risultati 149

4.3 Discussione critica dei risultati 151

Capitolo 5 - Fattori del successo della RE: la prospettiva docente 155

5.1 Percezioni docenti sulla robotica educativa: studio esplorativo 155

5.2 Determinanti del successo della RE: evidenze e ricadute 159

5.3 L'impatto dell'*expertise* in RE sulle decisioni didattiche 162

5.4 Conclusioni e implicazioni per la formazione docenti 165

Capitolo 6 - Progettare, implementare e valutare attività di RE 169

6.1 Applicare l'UDL alla robotica educativa 170

6.2 Orientamenti didattici basati su evidenze 180

6.3 Robotics Learning Self-Efficacy Scale (RLSES) 188
6.3.1 Struttura della scala RLSES 189
6.3.2 Caratteristiche e dati normativi 191
6.3.3 Conclusioni: limiti e prospettive dello strumento 196

Conclusioni 199

Bibliografia 205

Ringraziamenti 247

Prefazione

Di Lucio Negrini

Verso la fine degli anni 1960, Seymour Papert, professore al *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), ebbe l'intuizione di utilizzare dei robot a fini educativi. Nacque così la tartaruga LOGO, una piccola semisfera mobile controllabile attraverso il linguaggio di programmazione LOGO. Gli allievi potevano così progettare algoritmi, eseguirli tramite il robot e ricevere un feedback immediato sull'efficacia delle proprie istruzioni. L'oggetto fisico non era solo uno strumento di verifica, ma diventava un vero e proprio "oggetto con cui pensare" capace di mediare tra l'astrazione del linguaggio informatico e l'esperienza sensoriale concreta. Papert attribuiva grande importanza a questa dimensione materiale dell'apprendimento. Nel suo celebre libro *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas* (1984), riferendosi all'uso degli ingranaggi per apprendere concetti matematici, egli scrive:

«*Si può essere l'ingranaggio, si può capire come gira proiettando se stessi al suo posto e girando con lui. È questa duplice relazione, insieme astratta e sensoriale, che dà all'ingranaggio il potere di introdurre nella mente potenti concetti matematici*» (Papert, 1984, p.11).

Applicata alla robotica, questa visione suggerisce che i bambini possano appropriarsi di concetti informatici e di pensiero computazionale manipolando e programmando un robot, cioè costruendo conoscenza attraverso l'azione e la riflessione. Da qui nasce il concetto di costruzionismo, la teoria dell'apprendimento elaborata da Papert che si fonda sulla manipolazione di artefatti tangibili come mezzo per costruire conoscenza. Tale prospettiva si inserisce nel solco delle pedagogie attive e dialoga con teorie come la *embodied cognition*, secondo la quale il pensiero è indissolubilmente legato al corpo e all'interazione con l'ambiente.

Dagli anni 1960 ai giorni nostri la robotica educativa si è evoluta notevolmente, diventando una pratica riconosciuta non solo per lo sviluppo del pensiero computazionale, ma anche per il potenziamento di molteplici competenze, sia disciplinari (logico-matematiche, linguistiche, scientifiche) sia trasversali (collaborazione, creatività, *problem solving*, comunicazione). Con la progressiva digitalizzazione della società, essa si è affermata come strumento privilegiato per promuovere le competenze STEM, il coding e la cittadinanza digitale, contribuendo a preparare gli studenti a un mondo sempre più tecnologico e interconnesso.

Numerosi studi empirici hanno confermato l'efficacia della robotica educativa in contesti scolastici diversi, portando molti Paesi a includerla nei curricoli nazionali o a promuovere iniziative dedicate. Tuttavia, non mancano risultati contrastanti: alcune ricerche non hanno riscontrato miglioramenti significativi nei risultati di apprendimento, mentre altre hanno evidenziato criticità operative e pedagogiche. Tra queste vi sono le difficoltà legate ai costi dei kit

robotici, alla formazione dei docenti, alla scarsità di tempo curricolare e alla necessità di ripensare le pratiche didattiche in chiave laboratoriale e interdisciplinare.

La domanda quindi è legittima: vale davvero la pena portare la robotica educativa a scuola?

Dopotutto negli anni la scuola ha integrato nelle sue pratiche molteplici tecnologie, alcune delle quali hanno lasciato un segno profondo, altre si sono rapidamente esaurite senza produrre benefici significativi. Siamo sicuri che la robotica educativa rientri tra quelle esperienze capaci di lasciare un segno importante? Siamo pronti a investire in kit robotici e nella formazione dei docenti? Non rischiamo forse di fare investimenti significativi per poi ritrovarci i robot negli armadi "a prendere polvere"?

Riflettere sull'introduzione di nuove tecnologie richiede uno sguardo critico, volto a discernere quali strumenti possano davvero offrire valore aggiunto all'insegnamento e all'apprendimento, e come possano essere integrati in modo sostenibile, senza cedere alla tentazione di inseguire ogni nuova "moda" tecnologica.

Il lavoro di Arianna Marras si inserisce in questa prospettiva, proponendo una riflessione fondata su evidenze solide, che permettono di valutare la robotica educativa non come una semplice novità, ma come un'opportunità pedagogica capace di trasformare la scuola, rendendola più inclusiva e orientata al futuro. L'ampia analisi della letteratura internazionale, le ricerche empiriche svolte in Italia e in Svizzera, i numerosi strumenti, i modelli e le metodologie didattiche documentate in questo volume, offrono una visione a 360 gradi del tema. Ne emerge un quadro che evidenzia come la robotica educativa non solo contribuisca allo sviluppo del pensiero computazionale e delle competenze STEM, ma favorisca anche le funzioni esecutive, l'inclusione scolastica e le dimensioni cognitive, emotive e relazionali degli studenti, promuovendo di conseguenza il benessere scolastico.

Tuttavia, le sole evidenze scientifiche non bastano a favorire una reale integrazione della robotica educativa in classe. È fondamentale accompagnare i docenti in questo percorso, fornendo strumenti concreti, suggerimenti operativi e modelli di riferimento per l'uso quotidiano della robotica nella didattica. Il volume risponde a questa esigenza con linee guida, proposte pratiche e riflessioni sulle barriere ancora presenti – di natura tecnica, didattica o infrastrutturale – indicando possibili soluzioni, radicate nella realtà della scuola e nella prospettiva della sostenibilità.

Una particolare attenzione è dedicata alla dimensione inclusiva: la robotica educativa si configura qui non solo come strumento per rafforzare competenze disciplinari, ma come mediatore didattico capace di valorizzare la diversità, ridurre le disuguaglianze e creare contesti di apprendimento accessibili a tutti.

In un contesto in cui l'innovazione tecnologica avanza con ritmo incalzante, questo libro invita i docenti a fermarsi per riflettere sulle proprie pratiche: quali finalità educative orientano l'uso

della robotica a scuola? In che modo tali strumenti possono favorire la costruzione di competenze? Come possiamo misurare efficacemente gli esiti delle attività di robotica educativa?

Accanto all'attenzione rivolta al mondo della scuola, il volume si propone anche come riferimento per i ricercatori: la profondità, la sistematicità dell'analisi della letteratura, e l'ampiezza dei dati presentati lo rendono un'opera di riferimento. Infine, il riferimento all'*Universal Design for Learning* (UDL) e alle connessioni con l'Intelligenza Artificiale amplia lo sguardo e stimola nuove piste di indagine.

Il lettore è così accompagnato lungo un percorso che parte dai fondamenti teorici, attraversa esempi di ricerca e approda a indicazioni su strumenti operativi, in un intreccio che rende il libro completo, stimolante e utile tanto per i ricercatori e gli insegnanti quanto per chi, a vario titolo, contribuisce a progettare il futuro dell'educazione. L'idea che ne scaturisce è chiara: la robotica educativa non rappresenta una moda passeggera, ma un'opportunità pedagogica capace di ripensare il rapporto tra competenze, scuola e tecnologia. Un invito, rivolto a docenti, ricercatori e decisori politici, a considerare la tecnologia non come fine, ma come mezzo al servizio di una scuola più equa, partecipativa e capace di formare cittadini critici e consapevoli.

Introduzione

Viviamo in un'epoca in cui la tecnologia, al contempo risorsa e sfida, ridefinisce i legami tra individui, conoscenza e società. La scuola, luogo in cui il progresso tecnologico si traduce in pratica educativa, è chiamata a formare cittadini capaci non solo di usare strumenti digitali, ma di comprenderne il senso e orientarne l'impiego. Tra le tecnologie educative, la *robotica educativa* (RE) si configura come un laboratorio concreto e collaborativo, capace di stimolare *funzioni esecutive* (FE) e pensiero computazionale. Questo volume intreccia prospettive pedagogiche, ricerche condotte in classe e strumenti di valutazione, per offrire orientamenti utili a educatori e ricercatori. Con rigore, ma senza enfasi, si presentano in questa sede contributi empirici e modelli che aiutano a comprendere che cosa funziona, per chi e a quali condizioni. Il percorso si snoda dalle basi teoriche (Cap. 1–3), agli studi sperimentali sul funzionamento esecutivo (Cap. 4), ai fattori che ne determinano il successo (Cap. 5), fino agli approcci e agli strumenti operativi (Cap. 6).

Tali cambiamenti non sono neutrali, ma riflettono l'impatto delle scelte collettive e individuali che hanno ridefinito il rapporto tra sapere, tecnologia e società. Nel quadro della società dell'informazione (Floridi, 2017), la tecnologia assume infatti un duplice ruolo: è parte integrante del sistema uomo-macchina-ambiente, in grado di facilitare le interazioni tra i suoi elementi e potenziare i processi cognitivi e percettivi; nello stesso tempo richiede all'individuo di sviluppare competenze critiche, riflessive e selettive al fine di interpretare la complessità dell'infosfera contemporanea. Le istituzioni educative – *in primis* la scuola e il corpo docente – sono chiamate a ripensare profondamente le proprie pratiche. Non è sufficiente la prevenzione di derive tecnocentriche e di fruizioni acritiche dei dispositivi digitali: occorre promuovere una cultura dell'impiego consapevole e creativo della tecnologia. La scuola è dunque chiamata a progettare, sperimentare e valutare percorsi formativi capaci di preparare i discenti a governare, piuttosto che a subire, i processi di trasformazione culturale, sociale e scientifica. L'integrazione di tecnologie sempre più sofisticate nell'ambito educativo invita tutti gli attori del sistema formativo a riflettere sul ruolo della scuola nell'educazione al digitale. Tali strumenti tecnologici non vanno intesi come meri supporti, bensì come dispositivi epistemologici in grado di riconfigurare le modalità di accesso, costruzione e condivisione del sapere. Occorre, dunque, adottare una prospettiva pedagogica capace di andare oltre l'approccio strumentale, per abbracciare una visione critica e trasformativa dell'uso delle tecnologie nell'insegnamento e nell'apprendimento (Salomon, 2016).

La letteratura pedagogica ha individuato tre principali traiettorie attraverso cui si declina l'integrazione della tecnologia nei processi educativi (Calvani, 1999; 2004):

- *Educare nella tecnologia*, ovvero accogliere la sua pervasività come sfondo culturale dell'azione educativa;

- *Educare alla tecnologia*, intesa come finalità formativa orientata allo sviluppo della competenza digitale e computazionale;
- *Educare con la tecnologia*, cioè l'uso consapevole degli strumenti digitali per sostenere e innovare l'insegnamento.

Quest'ultima prospettiva risulta particolarmente significativa, poiché abbraccia il vasto ambito delle tecnologie dell'educazione che si distinguono per il loro potenziale trasformativo. Si tratta di strumenti che, da un lato, sostengono l'organizzazione della didattica e la progettazione di ambienti di apprendimento inclusivi e dinamici; dall'altro, agiscono come veri e propri *mindtools* (Jonassen, 1996) – strumenti per pensare e riflettere – capaci di attivare processi metacognitivi, di autovalutazione e di costruzione della conoscenza.
In questa direzione, il ruolo del docente assume un'importanza cruciale: come rappresentato nel triangolo pedagogico di Houssaye (1998), il docente si colloca al crocevia tra sapere e studente, e la dinamica tra insegnante, allievo e contenuto può modificarsi a seconda della relazione privilegiata tra essi. Le tecnologie, quando integrate nei contesti educativi, interagiscono con ognuno dei tre poli, assumendo funzioni diverse: possono essere strumenti per apprendere (ad esempio MOOC o video didattici), per insegnare (come la LIM, la *Digital Board* o le piattaforme di *e-learning*), per comunicare e sostenere la relazione educativa (si pensi all'uso di chat o ambienti sincroni), per collaborare nella costruzione condivisa del sapere (ad esempio i forum) e infine per valutare (mediante test, rubriche o *feedback* automatizzati). Queste cinque funzioni – insegnare, apprendere, comunicare, collaborare e valutare – costituiscono altrettanti paradigmi applicativi delle tecnologie educative. La loro efficacia dipende fortemente dalla cornice pedagogica adottata e dalle intenzionalità educative sottese. In una prospettiva trasmissiva, la tecnologia è veicolo di contenuti; in un'ottica costruttivista, essa diventa ambiente e strumento per l'elaborazione attiva del sapere da parte dello studente. Le sperimentazioni degli ultimi decenni – dal linguaggio di programmazione LOGO ideato da Papert (1980), fino alle attuali pratiche di coding, making e RE – testimoniano un'evoluzione costante dell'impiego didattico della tecnologia. L'accento si è spostato sempre più dal semplice uso strumentale alla progettazione di ambienti e artefatti capaci di promuovere l'autonomia, la creatività e la partecipazione attiva degli studenti. Tali strumenti, in quanto orientati alla produzione di contenuti, si configurano come leve per l'apprendimento significativo e l'acquisizione di competenze trasversali. In questo panorama, l'educazione digitale non può essere ridotta a una mera alfabetizzazione tecnica: essa richiede un ripensamento profondo del ruolo dell'insegnante, dei dispositivi, dei saperi e delle relazioni educative. Solo un approccio pedagogico integrato e consapevole potrà valorizzare appieno le tecnologie come fattori abilitanti per l'innovazione didattica e per la formazione di cittadini critici, creativi e responsabili. Tale ambito comprende, quindi, tutte quelle tecnologie educative caratterizzate da un elevato potenziale trasformativo. Esse si configurano, da un lato, come strumenti di supporto ai contesti didattici e alla progettazione di ambienti di apprendimento innovativi, capaci di facilitare o compensare compiti specifici; dall'altro, come veri e propri mediatori attraverso cui si attivano e si realizzano i processi di apprendimento.

Negli ultimi decenni la pervasività delle tecnologie digitali si è progressivamente intensificata, come testimonia, tra gli altri, l'evoluzione dell'*intelligenza artificiale* (IA) madre

della robotica autonoma. Quest'ultima, si è progressivamente intrecciata con l'ambito educativo, assumendo una funzione formativa. Da tale incontro è nata la RE, un ambito di ricerca dedicato alla progettazione e allo studio di artefatti robotici capaci di sostenere metodologie didattiche innovative e di creare condizioni favorevoli all'apprendimento (Lancia & Rubinacci, 2007). In linea con quanto delineato dal *Piano Nazionale Scuola Digitale* (PNSD), l'obiettivo diventa quello di promuovere un processo di apprendimento orientato all'innovazione culturale e alla valorizzazione consapevole delle tecnologie digitali, riconosciute come «strumento abilitante, connettore e volano di cambiamento» (MIUR, 2015). Nel corso dell'ultimo decennio, sia a livello nazionale che internazionale, si è registrato un crescente interesse della comunità scientifica e accademica nei confronti di attività di progettazione, costruzione e programmazione di robot in ambito educativo. Il fenomeno ha progressivamente coinvolto anche la società nel suo complesso, grazie al crescente entusiasmo dimostrato da insegnanti, pedagogisti, operatori del settore e all'espansione del mercato dei robot educativi, delle piattaforme *open source*, dei *software* e delle applicazioni specifiche, spesso accompagnate da un adeguato supporto tecnico-specialistico. La RE unisce saperi pedagogici, tecnologici e cognitivi con l'obiettivo di migliorare la qualità dell'insegnamento e dell'apprendimento (Angel-Fernandez & Vincze, 2018; Bonaiuti *et al.*, 2022a). Essa non va intesa come una semplice disciplina tecnica, ma come un campo di ricerca e pratica che si colloca all'intersezione tra educazione, robotica e interazione uomo-macchina (Goodrich & Schultz, 2007). L'uso didattico dei robot consente di integrare modalità di apprendimento attivo, cooperativo e laboratoriale, stimolando nei bambini lo sviluppo di abilità cognitive complesse, tra cui il *problem solving*, la pianificazione, il pensiero logico e, soprattutto, le *funzioni esecutive* (FE), ovvero quei processi mentali superiori che regolano il comportamento, l'attenzione, la memoria di lavoro e la capacità di autoregolazione (Gioia *et al.*, 2001; Diamond, 2013). Secondo recenti studi, la RE si dimostra una strategia efficace nel potenziamento delle FE, soprattutto quando integrata in ambienti di apprendimento motivanti e ben strutturati (Arfé *et al.*, 2020; Di Lieto *et al.*, 2020b). Le FE, oggi al centro del dibattito educativo e neuropsicologico, si rivelano fondamentali nei processi di apprendimento e nella gestione efficace dei compiti scolastici, in particolare nella scuola primaria, in cui tali funzioni sono in fase di rapido sviluppo. Potenziare le FE attraverso attività didattiche significative, sfidanti e motivanti, come quelle offerte dalla robotica, apre nuovi orizzonti per una didattica realmente centrata sullo studente e sulle sue potenzialità (Yilmaz & Koc, 2020).

Il contesto appena descritto ha favorito l'avvio di un processo di innovazione didattica diffusa, concretizzatasi nella realizzazione di numerosi laboratori di RE in ambienti educativi formali e non formali, nella nascita di club autonomi come i *CoderDojo*[1], e nell'organizzazione di eventi e competizioni nazionali e internazionali (si pensi alla *RoboCup*, *RoboCup Junior*, o alla *First Lego League*). Inoltre, si è assistito alla formazione di vere e proprie comunità di pratica,

[1] Un *CoderDojo* è un club informatico gratuito rivolto a giovani tra i 7 e i 17 anni, gestito da volontari e radicato nel contesto comunitario in cui opera. All'interno di questi spazi, i partecipanti possono avvicinarsi al mondo della programmazione attraverso attività pratiche quali la creazione di siti web, applicazioni, videogiochi o altri progetti digitali. I Dojo offrono un ambiente informale, creativo, sicuro e socialmente stimolante, in cui bambini e ragazzi sono incoraggiati a esplorare liberamente la tecnologia, sviluppando competenze digitali in modo collaborativo e ludico (https://coderdojo.com).

come la *Robotics Teachers Community* (Roteco), volte a promuovere la condivisione, la diffusione e la sperimentazione di attività di robotica e informatica, con l'obiettivo di formare le nuove generazioni all'interno di una società sempre più digitale. La piattaforma *Roteco*, in particolare, incoraggia anche lo sviluppo professionale degli insegnanti, inseriti in una comunità di apprendimento collaborativo in cui è possibile confrontarsi, formarsi e sperimentare approcci didattici innovativi. L'interesse del corpo docente verso un rinnovamento delle pratiche educative, alimentato dall'introduzione di strumenti digitali, rappresenta un fenomeno che non solo merita attenzione, ma necessita soprattutto di essere sostenuto e orientato in modo pragmatico dalle istituzioni e dalle agenzie formative. Solo così sarà possibile realizzare quel cambiamento educativo auspicato dalle politiche scolastiche.

Il presente volume nasce con l'obiettivo di integrare solidamente il quadro teorico della RE con l'analisi di esperienze empiriche condotte nella scuola primaria, al fine di esplorarne l'efficacia come dispositivo didattico orientato all'inclusione. Il lavoro presenta i risultati di contributi empirici che hanno coinvolto docenti, alunni e famiglie all'interno di laboratori didattici centrati sulla costruzione, programmazione e utilizzo di robot educativi. Il focus della ricerca è stato posto sul potenziamento delle FE e sul miglioramento dei processi di apprendimento, con particolare riferimento agli aspetti inclusivi dell'azione educativa. La scelta di operare nel contesto della scuola primaria non è casuale: tale grado scolastico si configura come ambiente particolarmente fertile per la sperimentazione didattica, grazie alla flessibilità metodologica, alla centralità dell'esperienza laboratoriale e alla naturale apertura a modelli educativi attivi e partecipativi (MIUR, 2012). L'opportunità di osservare direttamente l'interazione tra bambini e robot, le dinamiche cooperative tra pari e le risposte cognitive ed emotive sollecitate dalla tecnologia, ha offerto spunti di riflessione particolarmente rilevanti per comprendere l'impatto della RE nella prassi scolastica (Eguchi, 2014b; Chevalier *et al.*, 2016).

Nel complesso si intende offrire al lettore un contributo scientifico e operativo alla comprensione della RE, integrando teorie, dati empirici e strumenti operativi. Il volume si concentra sulla valorizzazione della RE in ambito scolastico, attraverso la presentazione di studi empirici e co-partecipati. L'obiettivo è esplorarne l'utilizzo all'interno dei laboratori didattici come strumento e mediatore educativo, al fine di potenziare gli esiti di apprendimento, stimolare le funzioni cognitive e promuovere pratiche didattiche innovative e inclusive. La prospettiva che si propone è chiara: non è la mera tecnologia a generare innovazione didattica, bensì la capacità degli insegnanti di mediarla e trasformarla in opportunità formative e più in generale, del sistema scolastico di accoglierla e renderla un'occasione di apprendimento significativo e orientato al futuro. La struttura riflette dunque la volontà di articolare un percorso che si muove dal piano teorico a quello empirico-operativo. La prima parte costruisce le fondamenta concettuali della RE mettendo in relazione tre piani: la natura delle tecnologie digitali come sfida educativa, la funzione della RE nei processi di apprendimento (con particolare attenzione al pensiero computazionale, alle competenze STEM e alle abilità di pensiero) e l'orizzonte inclusivo entro cui tali pratiche acquistano senso. La RE è trattata non come semplice "mezzo" strumentale, ma come pratica che sostiene l'agire didattico: qui trovano spazio i riferimenti costruttivisti e costruzionisti, le connessioni con l'*Universal Design for Learning* (UDL) e, più in generale, con quelle strategie che rendono accessibili i contenuti a classi eterogenee, anche alla luce delle nuove interazioni con l'intelligenza artificiale. Su questo sfondo, il

secondo capitolo entra nel cuore cognitivo della questione soffermandosi sulle FE: perché sono decisive nei compiti scolastici, come si sviluppano e in che modo le attività di robotica possono sostenerle, soprattutto in chiave inclusiva. Il quadro teorico si chiude con il terzo capitolo, guardando alla scuola come luogo d'inclusione reale: si discutono condizioni, opportunità e criticità dell'inserimento della RE nei curricoli, si chiariscono modelli e metodologie che lo rendano efficace, si propone una tassonomia essenziale di robot, interfacce ed esperienze e, infine, si ragiona su come valutare processi ed esiti, senza trascurare le percezioni di studenti, genitori e docenti e il nodo, cruciale, della formazione docente. Ampio spazio è dedicato a quest'ultima, considerata prerequisito essenziale per l'implementazione consapevole della RE e distinta in due ambiti principali: la formazione universitaria, che può fornire basi metodologiche e competenze specifiche già nella preparazione iniziale, e la formazione in servizio, volta a sostenere lo sviluppo professionale continuo e la diffusione di pratiche innovative.
La seconda Parte del volume, di natura più operativa, sposta l'attenzione dal "che cosa" sia la RE e "perché" sia utile al "come" implementarla efficacemente. Il quarto capitolo riporta l'esempio di due traiettorie di ricerca empirica realizzate nel contesto della scuola primaria: una condotta nel Sud Sardegna e l'altra nel Canton Ticino. Presenta in dettaglio i disegni di ricerca, i partecipanti coinvolti, le procedure e gli strumenti di valutazione impiegati. L'analisi dei risultati condotta tiene conto sia delle dimensioni cognitive (in particolare le FE), che delle percezioni, delle dinamiche emotive, motivazionali e relazionali emerse durante le attività. A partire da tali evidenze il volume, nel quinto capitolo, approda alla prospettiva dei docenti: che cosa favorisce il successo dell'integrazione della RE? Quale ruolo giocano le dimensioni di autoefficacia, interesse per le STEM, collaborazione professionale e *problem solving* nella qualità delle decisioni didattiche? Tali dimensioni rappresentano i pilastri su cui costruire percorsi di formazione iniziale e continua, capaci di rafforzare la professionalità docente e l'integrazione consapevole della RE nei curricoli. Viene inoltre discusso il ruolo dell'*expertise* in RE: esso risulta determinante per le scelte metodologiche, per la predisposizione al lavoro cooperativo e per la gestione di ambienti didattici innovativi. I dati empirici mostrano che i docenti con maggiore esperienza in RE tendono ad adottare approcci incentrati sugli studenti, a sperimentare pratiche collaborative e a integrare con maggiore efficacia la RE nelle proprie progettazioni didattiche. Il *Robotic Camp*, un'esperienza formativa intensiva descritta nel capitolo, conferma come ambienti di apprendimento attivo, pratico e riflessivo possano incidere positivamente su tutte le dimensioni esplorate dal RIQ. Il capitolo conclusivo traduce le evidenze in orientamenti operativi, affrontando l'applicazione dell'UDL alla robotica, le condizioni didattiche risultino più sostenibili per l'efficacia della pratica e gli strumenti più validi al fine di monitorare i cambiamenti in termini di autoefficacia nell'apprendimento della RE. In tale quadro si colloca lo strumento *Robotics Learning Self-Efficacy Scale* (RLSES), presentato nelle sue caratteristiche psicometriche e nelle ricadute d'uso, con un box pratico che ne illustra modalità applicative e benefici a scuola. Le conclusioni ripercorrono il filo rosso del volume, dalle fondamenta teoriche alle esperienze di ricerca portatrici di evidenze empiriche, al fine di individuare le priorità educative: come progettare con obiettivi chiari e criteri di valutazione coerenti, come curare la regia didattica e i dispositivi collaborativi, quali artefatti scegliere in base agli allievi e ai compiti da intraprendere. Si intende delineare in che modo la RE possa

configurarsi effettivamente non soltanto come strumento innovativo, ma anche come leva trasformativa capace di incidere sulla qualità dell'insegnamento e sull'inclusione scolastica.

PARTE I

FONDAMENTI TEORICI

Capitolo 1

La Robotica Educativa

1.1 Tecnologie digitali e sfide educative attuali

Nel cuore dell'esperienza scolastica risiede la relazione tra insegnamento e apprendimento, una dinamica complessa e vitale che risponde al bisogno innato degli studenti di esplorare, interpretare e comprendere il mondo che li circonda. Tale relazione, lungi dall'essere una semplice trasmissione di contenuti, si sviluppa come un processo attivo in cui lo studente costruisce significato a partire dall'interazione diretta con l'ambiente, dall'esperienza concreta e tramite l'utilizzo di strumenti materiali e simbolici. Gli artefatti, in particolare quelli tecnologici, rappresentano potenti mediatori di conoscenza in grado di favorire l'indagine, l'analisi e il potenziamento del "saper fare" e del "saper agire". In questa prospettiva, la scuola si configura non più come luogo di mera erogazione di informazioni, bensì come ambiente in cui le conoscenze vengono selezionate, elaborate e valutate criticamente, dando vita a processi di costruzione attiva del sapere. Le competenze da sviluppare si allineano con quelle previste dal concetto di *Information Literacy*, il quale che prevede la capacità di accedere, valutare, organizzare e utilizzare in modo consapevole le informazioni. I bambini, per maturare tali competenze, necessitano di agire attivamente, tessendo reti di significato che attraversano le discipline e connettono saperi formali con esperienze informali e quotidiane.
Tra le otto competenze chiave per l'apprendimento permanente delineate dal Consiglio dell'Unione Europea (2018), la competenza digitale occupa un ruolo centrale. Le tecnologie offrono, infatti, enormi potenzialità nel sostenere il compito educativo e arricchire il processo di insegnamento-apprendimento, innescando atteggiamenti riflessivi, collaborativi e partecipativi. La stessa interazione con strumenti digitali implica una rielaborazione critica del ruolo dell'insegnante, che evolve da trasmettitore di contenuti a facilitatore, guida e progettista di ambienti di apprendimento dinamici e coinvolgenti (MIUR, 2012). Diventa pertanto imprescindibile ripensare i modelli didattici alla luce dell'integrazione tecnologica, adottando approcci che coniughino innovazione strumentale e rigore pedagogico. Come sottolineano Rivoltella e Rossi (2019), è impensabile costruire una didattica contemporanea che prescinda dall'uso delle tecnologie, così come sarebbe vano adottare strumenti digitali senza ancorarli a principi educativi solidi. In tale contesto si inserisce la *robotica educativa* (RE), la quale si configura come una pratica che prende vita in un ambiente educativo ludico e stimolante, capace di attivare il pensiero logico, analitico e computazionale in modo naturale e motivante (MIUR, 2018). La curiosità verso il mondo della robotica è stata progressivamente incoraggiata anche dai documenti ufficiali del sistema scolastico italiano. Già nelle *Indicazioni Nazionali per il Curricolo* (MIUR, 2012; 2015) si suggeriva l'introduzione di attività di programmazione

informatica e di controllo di semplici robot come traguardo di competenza al termine del primo ciclo d'istruzione. Tali proposte sono poi state ulteriormente sviluppate dalla ricerca educativa che ha esplicitato la necessità di promuovere il *computational thinking* (CT) (Wing, 2006), o il pensiero computazionale[2], l'attitudine a formulare problemi in modo che una soluzione possa essere raggiunta attraverso processi logici e algoritmici (Redecker & Punie, 2017). L'evoluzione normativa è stata accompagnata dall'invito ai docenti a sviluppare le proprie competenze digitali, così da poter progettare percorsi didattici orientati alla promozione delle capacità tecnologiche, logiche e risolutive degli studenti (NAEYC & Fred Rogers Centre, 2012; ISTE, 2017). Tra i riferimenti normativi italiani figurano la Legge 107/2015 (*La Buona Scuola*), il decreto legislativo n. 62/2017, le *Indicazioni Nazionali e Nuovi Scenari* del 2018 e la Legge 233/2021, art. 24 bis, che sottolineano l'importanza dello sviluppo delle competenze digitali fin dalla scuola primaria. Nonostante queste aperture istituzionali e il crescente interesse di molti insegnanti verso la RE (Bonaiuti *et al*., 2022a; Kyriazopoulos *et al*., 2021), la sua integrazione nei curricoli scolastici risulta ancora frammentaria. In molti casi, la RE assume la forma di attività opzionale o extracurricolare, con il rischio di non essere pienamente valorizzata all'interno della progettazione didattica ordinaria (Alimisis & Moro, 2013; Mubin *et al*., 2013; Tzagkaraki *et al*., 2021). Alcuni paesi europei, come il Regno Unito e la Finlandia, hanno invece integrato in modo sistematico la programmazione e la robotica nei loro programmi scolastici, già a partire dalla scuola primaria (Sisman *et al*., 2020). Le loro scelte hanno promosso una riflessione pedagogica più ampia, favorendo l'avvio di numerosi studi sperimentali, finalizzate a delineare modelli teorici e operativi efficaci per l'implementazione della RE in ambito scolastico. Una recente mappatura bibliometrica condotta da Akgun e Atici (2023) ha evidenziato una crescita costante della letteratura scientifica sulla RE, con un picco di pubblicazioni nel 2020, segno di un interesse consolidato e in evoluzione.
Il presente capitolo si propone di esplorare tale panorama d'indagine, delineando in modo articolato le caratteristiche epistemologiche della RE, l'interazione uomo-robot nei contesti formativi e le implicazioni pedagogiche che derivano dalla sua introduzione. Dopo aver considerato il ruolo delle tecnologie digitali nel quadro delle politiche educative e delle competenze richieste ai cittadini del XXI secolo, ci si sofferma più nello specifico sulla RE, chiarendone definizioni, cornici teoriche e implicazioni epistemologiche, che costituiranno la base concettuale per le analisi successive.

1.2 Definizione e inquadramento della robotica educativa

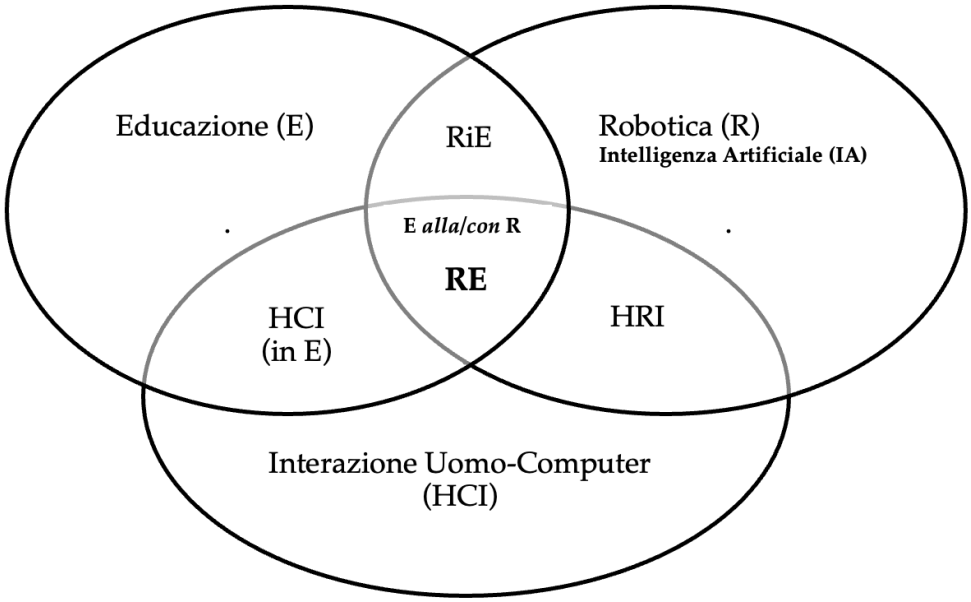
Dopo aver delineato il contesto educativo e normativo, è opportuno definire la RE sul piano epistemologico, evidenziandone specificità e ambiti applicativi. La robotica ha trovato infatti, nel mondo contemporaneo, numerosi campi di applicazione, che spaziano dall'industria

[2] Il pensiero computazionale, com'è noto, si configura come un atteggiamento mentale che unisce capacità analitiche e creative, distinguendosi per l'attitudine a risolvere problemi mediante l'impiego di strategie proprie della logica informatica. Esso comprende, tra le sue componenti fondamentali, la scomposizione dei problemi in sottoproblemi gestibili, l'individuazione di schemi ricorrenti, la progettazione di algoritmi e la capacità di analizzare, interpretare e gestire i dati in modo strutturato.

all'assistenza sanitaria, dalla logistica all'intrattenimento, fino all'ambito educativo, dove l'incontro tra le tecnologie robotiche e i processi formativi ha generato sfide e opportunità inedite. L'interazione uomo-robot (*human-robot interaction*, HRI) è oggi una specifica area di ricerca che si occupa della progettazione e della sperimentazione di sistemi e piattaforme robotiche pensate per interagire con gli esseri umani, migliorandone le esperienze e le capacità operative (Goodrich & Schultz, 2007). Nel nuovo millennio, il progresso della robotica è stato costante e pervasivo, come documentato dalla *International Federation of Robotics* (IFR) nella *World Robotics 2022*. La crescente autonomia dei robot, unitamente allo sviluppo dell'intelligenza artificiale, ha ampliato il loro impiego anche in ambienti informali e destrutturati, aprendo nuovi scenari d'uso che coinvolgono sempre più da vicino i cittadini, inclusi i bambini. In questo contesto, l'educazione è chiamata a rispondere alle sollecitazioni provenienti dal mondo della tecnologia, integrando i robot come strumenti educativi, di apprendimento e di mediazione didattica. L'ampia diffusione dei robot nella vita quotidiana, inoltre, ha reso necessaria una riflessione pedagogica e metodologica sulla loro funzione educativa. I robot di oggi sono progettati per operare con efficacia e interagire a diversi livelli di complessità, adattandosi alle esigenze degli ambienti scolastici e alle caratteristiche cognitive e relazionali degli studenti. Questa trasformazione impone la necessità di una comprensione più approfondita della RE, che rappresenta oggi un campo di ricerca e di intervento pedagogico in divenire, originatosi dall'intersezione tra discipline tradizionalmente separate come l'informatica, l'ingegneria, la psicologia cognitiva, la pedagogia e le scienze dell'educazione. La RE non si limita all'impiego strumentale di dispositivi tecnologici all'interno della classe, ma propone una visione integrata e trasformativa dell'educazione, in cui l'artefatto robotico agisce come catalizzatore di processi cognitivi, emotivi e sociali. Essa si configura come una pratica didattica supportata da metodologie attive e di stampo laboratoriale, grazie alla quale gli studenti hanno l'opportunità di apprendere attraverso l'ideazione, la progettazione, la costruzione e la programmazione di oggetti atti a favorire il pensiero e il ragionamento (Papert, 1980; Ackermann, 2001).

Gli studiosi Angel-Fernandez e Vincze (2018) sostengono che la definizione di RE risulta spesso vaga o soggetta a interpretazioni non univoche. In tale direzione, gli autori sottolineano la necessità di distinguere tra l'uso generico dei robot in ambito educativo e la RE propriamente detta, ovvero una disciplina specifica con un valore epistemologico autonomo. La RE, infatti, si colloca all'intersezione di tre ambiti principali: educazione, robotica e interazione uomo-computer (HCI), come mostrato nel diagramma di Venn (Figura 1). Tale convergenza consente di delineare un campo in cui l'obiettivo primario non è l'insegnamento della robotica in sé, ma l'integrazione dei robot nei percorsi scolastici al fine di migliorare le esperienze di apprendimento degli studenti.

Figura 1. Diagramma di Venn sui campi di studio coinvolti nella RE (riadattato da Angel-Fernandez & Vincze, 2018). L'intersezione di Educazione (E), Robotica (R) e Intelligenza Artificiale (IA) dà vita alla Robotica in Educazione (RiE) che comprende al suo interno la RE.



In questa prospettiva, la RE è definita come:

"un campo di studi che mira a potenziare l'esperienza di apprendimento delle persone attraverso la creazione, l'implementazione, il miglioramento e la sperimentazione di attività pedagogiche, strumenti (ad esempio linee guida e modelli) e tecnologie, in cui i robot svolgono un ruolo attivo e i metodi pedagogici informano ogni decisione" (Angel-Fernandez & Vincze, 2018, trad. autrice).

Questa definizione evidenzia come la RE sia finalizzata al miglioramento delle esperienze di apprendimento attraverso la progettazione e la sperimentazione di attività pedagogiche. Ne deriva l'esigenza di sviluppare nuovi approcci di ricerca capaci di accogliere e valorizzare elementi eterogenei, provenienti direttamente dalle pratiche educative sul campo. In questa prospettiva, l'approccio metodologico *mixed method* si rivela particolarmente adeguato: da un lato, consente di colmare la carenza di dati quantitativi e di natura sperimentale (Benitti, 2012; Bonaiuti *et al.*, 2022a); dall'altro, favorisce la realizzazione di studi longitudinali e l'elaborazione di una visione d'insieme condivisa con gli esperti del settore educativo. Promuovere percorsi di ricerca basati su una collaborazione attiva e partecipata con il corpo docente permette di avviare processi di co-progettazione con specialisti delle diverse aree del sapere e con tutti gli attori della comunità scolastica (dirigenti, educatori, personale tecnico). In tal modo, è possibile ideare, strutturare, attuare e valutare collettivamente situazioni didattiche e contesti educativi in cui la robotica giochi un ruolo centrale. La definizione stessa sottolinea l'importanza dell'integrazione consapevole tra tecnologia e pedagogia, e la necessità di progettare esperienze educative in cui i robot non siano semplici oggetti tecnologici, ma veri e propri attori didattici.

Dopo aver definito la RE, è fondamentale distinguere con precisione e chiarezza i suoi ambiti applicativi in campo educativo rispetto a quelli, più ampi, della robotica in educazione (RiE) (Scaradozzi *et al.*, 2019b). Come illustrato nella Figura 1, entrambi i concetti nascono dall'intersezione tra Robotica Autonoma[3] e intelligenza artificiale (IA), da un lato, e gli studi psico-pedagogici e le possibili integrazioni con l'educazione e l'interazione uomo-computer (HCI), dall'altro. A questo punto ci si chiede quale legame esiste tra RE e RiE? Si può affermare che la robotica in educazione (RiE) rappresenti un contenitore più ampio e generale, all'interno del quale la RE si configura come una sub-area specifica? In particolare, all'interno della RE, è possibile individuare due sottocategorie (Alimisis *et al.*, 2009):

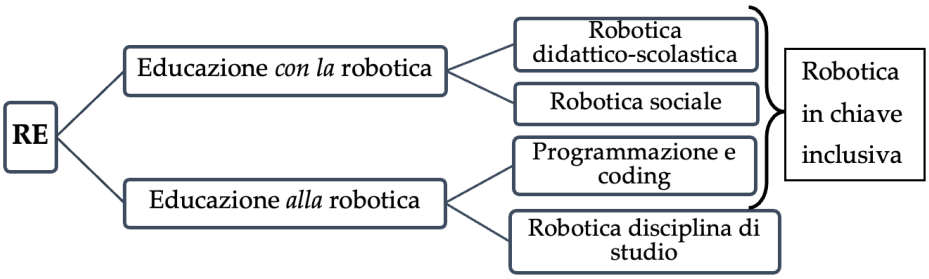
1. la robotica come *strumento per l'apprendimento*, in cui il robot funge da artefatto mediatore, ovvero un mezzo attraverso cui facilitare il processo di insegnamento e apprendimento;
2. la robotica come *oggetto di apprendimento*, ossia la robotica "pura", trattata come contenuto disciplinare in sé da studiare e approfondire.

Queste due categorie si differenziano per le intenzioni educative e per le finalità didattiche che le caratterizzano, dando vita a due distinte prospettive educative derivanti dall'interazione tra educazione e robotica (Figura 2):

- *educazione con la robotica*: include tutte le iniziative didattiche in cui il robot è utilizzato come strumento operativo e progettuale per facilitare esperienze formative;
- *educazione alla robotica*: si riferisce all'insegnamento della robotica come disciplina specifica, spesso presente nei piani di studio degli istituti tecnici ad indirizzo informatico (ad esempio l'insegnamento di meccatronica), con un focus sullo sviluppo del pensiero computazionale attraverso la programmazione e il *coding*.

[3] La Robotica Autonoma si propone di superare la concezione tradizionale del robot inteso come semplice sostituto dell'essere umano nell'esecuzione di compiti specifici e predeterminati, limitati all'implementazione di un codice prestabilito. In tale visione classica, il robot agisce come esecutore di istruzioni simboliche contenute in schemi interni di rappresentazione. Al contrario, l'approccio *behaviour-based* (Brooks, 1991) amplia questa prospettiva, introducendo l'idea di un robot dotato di *embodiment*, ovvero di un corpo fisico, e di sistemi percettivi e motori capaci di interagire dinamicamente con l'ambiente circostante. In quest'ottica, il robot non si limita a replicare comportamenti programmati, ma è in grado di reagire in modo adattivo a stimoli provenienti dal contesto. Per esempio, un robot che, di fronte a un ostacolo, modifica autonomamente la propria traiettoria, evidenzia la capacità di raccogliere informazioni dall'ambiente e di agire di conseguenza. Tale capacità è resa possibile da una struttura articolata che comprende: un insieme di sensori per la percezione degli stimoli esterni; un micro-computer in grado di elaborare i dati ricevuti e generare un piano d'azione; un'infrastruttura interna che connette i sensori al processore; e infine, degli attuatori (motori, LED, altoparlanti, ecc.) che permettono l'interazione fisica con l'ambiente. Attraverso questa architettura integrata, il robot autonomo è in grado non solo di eseguire istruzioni, ma di pianificare azioni coerenti con le situazioni contingenti, operando scelte finalizzate alla risoluzione di problemi in contesti reali (Marocco, 2006).

Figura 2. Classificazione della robotica educativa: categorie e sottocategorie



La studiosa Eguchi (2013) ha avanzato la proposta di una terza proposta, che, sebbene possa essere ricondotta semanticamente alla sottocategoria della *robotica sociale*, si distingue per la sua funzione specifica: si tratta, infatti, del robot impiegato come ausilio all'insegnamento, ovvero come supporto diretto all'attività del docente. In questo caso, il robot – generalmente di tipo sociale – assume il ruolo di *tutor didattico*, affiancando l'insegnante nel facilitare i processi di apprendimento degli studenti. Tale declinazione rientra nella cornice concettuale dell'*educare con la robotica*, e contribuisce a evidenziarne la complessità e l'ampiezza. Per offrire una sistematizzazione distinguiamo due sottoinsiemi concettuali (Figura 2) definiti in base alle finalità delle attività progettate: l'educare *con la* robotica si dirama in *robotica didattico-scolastica* e *robotica sociale*. Tale distinzione implica che, nell'ambito della progettazione di un'attività di RE, l'educatore debba innanzitutto chiarire gli obiettivi formativi prioritari e individuare gli strumenti più adeguati al loro raggiungimento. Tale operazione implica una selezione consapevole e orientata, che tenga conto tanto delle finalità educative quanto del contesto e dei destinatari. Nello specifico, la *robotica scolastica* si caratterizza per l'esplicitazione di obiettivi di apprendimento disciplinari, trasversali a più ambiti del sapere. Parallelamente, si è ritenuto opportuno includere, in maniera trasversale, una visione della robotica orientata all'inclusione scolastica. In questa prospettiva, le attività di RE sono concepite all'interno di architetture metodologiche che promuovono l'apprendimento collaborativo, l'apprendimento e il tutoraggio tra pari e più in generale la costruzione partecipata della conoscenza (Cottini, 2018). L'impiego di strategie didattiche attive e inclusive incontra, nella robotica, un valido alleato per la creazione di ambienti di apprendimento flessibili, cooperativi e motivanti. In definitiva, gli interventi che si avvalgono della robotica possono essere concepiti come *ensemble educativi*: configurazioni dinamiche e sinergiche che integrano finalità didattiche, sociali e relazionali nell'uso della tecnologia.

La categoria dell'educare attraverso la robotica si presenta come un ambito particolarmente ampio e articolato, al cui interno si colloca anche l'educare *alla* robotica. Quando gli studenti sono chiamati a programmare un robot per raggiungere un determinato obiettivo didattico-disciplinare, il processo formativo implica una duplice fase: dapprima l'acquisizione di competenze relative alla robotica stessa – ovvero un'educazione *alla* robotica – e, successivamente, l'impiego del robot come strumento didattico, dunque un'educazione *con la* robotica. Perciò, l'educazione *alla* robotica può essere intesa come una forma di *metaconoscenza* funzionale alle attività di robotica. Si tratta di un sapere propedeutico e imprescindibile, finalizzato a consentire un uso consapevole e competente della tecnologia nelle pratiche educative.

L'interdipendenza tra le due fasi si manifesta nella necessità, da parte degli studenti, di apprendere i fondamenti della programmazione e del *coding*, come prerequisiti necessari al fine di poter operare all'interno di percorsi laboratoriali orientati allo sviluppo del pensiero computazionale.

Si intende con robotica scolastica l'insieme degli interventi curricolari che impiegano il robot come strumento didattico per il conseguimento di obiettivi disciplinari e trasversali, progettati, documentati e valutati in coerenza con metodologie attive. Dopo aver individuato le tre principali sottocategorie operative di questo approccio, è opportuno soffermarsi sul significato e sulle modalità di realizzazione delle pratiche più diffuse. Tra queste, la robotica scolastica (o robotica didattica) si configura come pratica multifunzionale e multiforme, non vincolata a una singola disciplina né a una metodologia univoca, e offre ampi margini di flessibilità e di creatività progettuale. La robotica scolastica include tutti quegli interventi progettati con un'intenzionalità didattica esplicita, nei quali il robot viene utilizzato per raggiungere specifici obiettivi di apprendimento e traguardi di competenza. Essa si configura come uno spazio privilegiato di intersezione tra l'educare *alla* e *con la* robotica: in entrambi i casi, il pensiero computazionale costituisce il presupposto epistemologico e operativo. Nella prima accezione, assume il valore di prerequisito tecnico-concettuale; nella seconda, si sviluppa come competenza trasversale, mediante percorsi interdisciplinari strutturati con specifici obiettivi formativi, modalità operative e tempi. L'obiettivo dell'apprendimento può essere riferito a uno o più domini disciplinari. Ad esempio, per comprendere un concetto matematico come la stima di una distanza, è possibile impiegare un robot programmabile che simuli un percorso: il robot agisce da mediatore didattico e rende concreta l'acquisizione di contenuti attraverso l'attivazione del pensiero computazionale. In questo contesto, scrivere un algoritmo per definire il comportamento di un agente esterno richiede non solo la comprensione semantica del compito, ma anche il possesso delle competenze linguistiche e procedurali relative al linguaggio di programmazione: sintassi, grammatica e lessico tecnico diventano strumenti cognitivi per agire. Programmare un robot per perseguire un obiettivo formativo non si riduce, dunque, alla semplice conoscenza del linguaggio informatico, ma implica un processo complesso che include la comprensione dell'obiettivo finale, l'elaborazione concettuale, la pianificazione delle azioni, la stesura del codice, l'analisi degli errori (*bugs*) e il riconoscimento di categorie di problemi, fino all'ideazione e alla sperimentazione di soluzioni adeguate. Si tratta di un'attività ad alta densità cognitiva, in cui l'organizzazione delle informazioni e delle procedure si traduce nella costruzione di modelli mentali e operativi condivisi, sviluppati attraverso l'esperienza. In entrambe le declinazioni – educare *alla* e *con la* robotica – si manifesta una gestione consapevole del pensiero computazionale, che Jeannette Wing (2006, 2008) ha definito come la "quarta abilità di base", al pari della lettura, della scrittura e del calcolo. Tale visione si ricollega all'approccio pionieristico di Seymour Papert (1980), che sosteneva l'importanza di mettere i bambini nella condizione di programmare il computer piuttosto che essere semplici fruitori di istruzioni impartite dalla macchina, come nel caso della *Computer-Assisted Instruction* (CAI). A tal proposito nel paragrafo successivo verranno analizzati nel dettaglio numerosi studi che hanno evidenziato l'efficacia delle pratiche di RE nello sviluppo del pensiero computazionale e nei processi di apprendimento nelle discipline STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*).

Per quanto concerne la robotica sociale, la sua introduzione nei contesti educativi con l'obiettivo di configurare il robot come *agente educativo* a supporto dell'insegnante, ha suscitato un crescente entusiasmo in alcune parti del mondo, in Giappone, ad esempio, studi ed esperienze in classe documentano sperimentazioni con robot che assumono i ruoli di tutor, assistenti e *peer learner* (Tanaka & Matsuzoe, 2012;). Anche in Italia, negli ultimi anni, si è registrato un progressivo incremento dell'interesse verso tali tecnologie. Emblematico in tal senso è l'impiego del robot umanoide *Pepper*, inizialmente introdotto in ambiti quali la sanità, il ricevimento, l'amministrazione e la ristorazione, e successivamente, adottato anche in contesti accademici. Nelle aule universitarie italiane, *Pepper* è stato utilizzato al fine di indagare le opinioni e le percezioni degli studenti (Lehmann & Rossi, 2019, 2020; Lehmann & Svarny, 2021), nonché come supporto all'apprendimento e alla didattica attraverso la condivisione di *feedback* ai docenti. In ambito educativo, i robot sociali sono stati impiegati per ricoprire i ruoli di *tutor* o di *pari* (Belpaeme *et al*., 2018), contribuendo attivamente alla didattica d'aula: affiancano i docenti durante le lezioni, facilitano l'interazione e incentivano l'acquisizione di nuove competenze da parte degli studenti (Leite *et al*., 2013). Una linea complementare impiega il robot nel ruolo di allievo da istruire: quando gli alunni insegnano al robot, tendono a mettere in atto strategie di insegnamento e, se il robot commette errori, sono stati osservati maggiori guadagni in termini di apprendimento – in particolare quando il robot commette degli errori in modo atipico su contenuti già insegnati (Bowman-Smith *et al*., 2025). Uno dei settori di applicazione più promettenti è rappresentato dall'apprendimento delle lingue seconde (L2), in cui l'integrazione dei robot ha prodotto un aumento dell'efficacia formativa e un miglioramento significativo nei risultati degli studenti (Arar *et al*., 2021). Una *scoping review* su intelligenza artificiale e apprendimento linguistico nella prima infanzia segnala che gli strumenti basati su AI – compresi i robot sociali – sono in generale utili per l'educazione della lingua e l'alfabetizzazione; tra i fattori chiave della loro efficacia figurano la personalizzazione e il ruolo del robot come pari (Sun *et al*., 2025). Inoltre, uno studio sperimentale condotto da Heidari e colleghi (2018) ha evidenziato l'impatto positivo dei robot sociali nello sviluppo delle FE in bambini con disturbo dello spettro autistico, in particolare per quanto riguarda l'attenzione selettiva e l'inibizione della risposta. L'evoluzione dell'intelligenza artificiale ha reso questi dispositivi tecnologicamente più sofisticati e dotati di caratteristiche sociali sempre più simili a quelle umane, visibili tanto nei comportamenti e nelle modalità relazionali (gesti, posture, interazioni), quanto nella conformazione fisica, spesso antropomorfa o semi-umanoide. Tali peculiarità ne facilitano l'accettazione da parte degli studenti, che tendono a percepire il robot come un potenziale "compagno" o "amico". Le dimensioni sociali di tali dispositivi spingono, inoltre, gli studiosi di scienze dell'educazione a interrogarsi sul ventaglio di funzioni che i robot possono assumere all'interno del sistema scolastico e sui ruoli che potrebbero ricoprire nei processi di apprendimento.

Per immaginare in modo concreto scenari educativi realistici, è necessario innanzitutto indagare le potenzialità formative dei robot sociali. La letteratura offre diversi esempi di approcci efficaci basati su interazioni spontanee e coinvolgenti, in grado di supportare l'apprendimento sia della gestualità (De Carolis *et al*., 2019; Gasparini, 2019), sia di aspetti comunicativi, ad esempio attraverso pratiche di imitazione. È stato osservato che studenti con difficoltà nel

mantenere il contatto oculare, grazie all'introduzione del robot nell'ambiente educativo, hanno mostrato un'evoluzione nel comportamento visivo: dal contatto con il robot a quello con l'insegnante (Pennazio, 2017).
Accanto agli aspetti pratici, non può essere trascurata la riflessione teorico-didattica necessaria a orientare le scelte tecnologiche. Tali scelte dovrebbero fondarsi su esigenze e principi pedagogici che concepiscano il robot non come semplice strumento, bensì come possibile *mediatore dell'insegnamento*. Quando progettati con caratteristiche affini a quelle del comportamento umano, i suddetti dispositivi possono stimolare la sfera comunicativo-relazionale, promuovendo percorsi formativi orientati alla comprensione degli stati emotivi e allo sviluppo di modelli comportamentali prevedibili, soprattutto in situazioni strutturate. È in questo senso che la robotica sociale ha mostrato evidenze positive anche nel lavoro individuale con soggetti con disturbo dello spettro autistico (Vivanet, 2015), con riscontri concreti sullo sviluppo di abilità sociali, comportamenti adattivi e competenze relazionali. In una revisione sistematica, Mubin e colleghi (2013) esaminano i principali aspetti operativi dell'integrazione dei robot a scuola, con particolare attenzione alle dinamiche dell'interazione bambino–robot, evidenziandone il valore come strumenti didattici motivanti e coinvolgenti. A conferma di questa tendenza, diversi progetti educativi hanno incluso il robot umanoide *NAO* come risorsa pedagogica (Lytridis *et al*., 2018; Pennazio & Fedeli, 2019; Pinnelli, 2015; Vrochidou *et al*., 2018). In queste esperienze, *NAO* ha svolto funzioni diversificate: *mediatore di storie sociali* per abilitare l'interazione funzionale; *agente compensativo* per studenti con *disturbi specifici dell'apprendimento* (DSA); facilitatore nel riconoscimento del linguaggio emotivo e nella promozione dell'autoregolazione; e, più in generale, *strumento di mediazione didattica* in grado di favorire pratiche inclusive e percorsi formativi personalizzati.

Uno stesso dispositivo robotico può essere adattato a una pluralità di approcci educativi: il robot, infatti, può assumere la funzione di agente socialmente assistivo oppure configurarsi come strumento inclusivo, favorendo tanto i processi di inclusione sociale dei singoli quanto la costruzione di ambienti didattici inclusivi. I robot impiegati in tale costruzione possono avere una natura assistiva, con finalità compensative e/o protesiche – si pensi, ad esempio, all'utilizzo degli esoscheletri – oppure presentarsi come giocattoli robotici dotati di specifici attributi progettuali capaci di stimolare l'interazione, la socializzazione e la comunicazione. In quest'ultimo caso, essi si rivelano preziosi facilitatori, in grado di sostenere la partecipazione attiva e il coinvolgimento degli studenti con disabilità all'interno delle attività educative. L'obiettivo educativo, in tal senso, si articola su due fronti complementari: da un lato, garantire l'accessibilità individuale; dall'altro, rimuovere barriere – siano esse strutturali, cognitive o relazionali – al fine di migliorare la qualità dell'istruzione e promuovere equità nei processi formativi (Besio, 2009; Bulgarelli *et al*., 2020; Pennazio, 2015).
Chiarite le cornici epistemologiche, tali riflessioni costituiscono il fondamento su cui si innestano le pratiche didattiche, che verranno approfondite nei capitoli successivi a partire dall'inquadramento della RE a scuola e dal suo ruolo nei processi di insegnamento-apprendimento. Alla luce di queste premesse, il paragrafo successivo sarà dedicato all'analisi dell'apprendimento mediato dalla RE, soffermandosi sulle sue potenzialità educative, sugli obiettivi disciplinari e sui traguardi di competenza trasversale che può favorire, in prospettiva sia nazionale sia internazionale.

1.3 L'apprendimento mediato dalla robotica educativa

Tra le attività formative finalizzate allo sviluppo di abilità strategiche richieste dalla cosiddetta "scuola delle competenze", l'impiego dei computer come strumenti cognitivi con cui pensare è da tempo oggetto di interesse (Harel & Papert, 1991; Mikropoulos & Bellou, 2013), nonché una via privilegiata per l'acquisizione delle competenze chiave del XXI secolo (Alimisis, 2013). In questo contesto, la RE si è affermata come pratica didattica consolidata, utilizzando artefatti robotici a supporto dei processi di insegnamento-apprendimento (Leroux, 1999). Numerose ricerche confermano i benefici derivanti dall'integrazione della RE nell'istruzione K-12[4], con evidenze particolarmente significative nella scuola primaria (Zhou *et al*., 2019). Anche gli studi che non registrano effetti marcati sottolineano comunque il valore educativo dell'interazione con oggetti tangibili e programmabili, evidenziando il loro potenziale nello sviluppo di competenze trasversali come l'organizzazione, le relazioni interpersonali e la *leadership*, competenze sempre più richieste nel contesto attuale (Eguchi, 2014b; Gratani & Giannandrea, 2022). Scrivere un programma, infatti, richiede non solo abilità logiche e di astrazione, ma anche competenze applicative e di autoregolazione, poiché la correttezza del codice dipende dal rispetto rigoroso delle regole grammaticali, sintattiche e semantiche del linguaggio utilizzato. In quest'ottica, apprendere a programmare equivale, per certi versi, ad apprendere una nuova lingua: un esercizio che stimola profondamente il pensiero e le capacità cognitive.

1.3.1 Robotica educativa e pensiero computazionale

Il pensiero computazionale, espressione coniata da Seymour Papert e successivamente diffusa da Jeannette Wing, si riferisce a quell'insieme di processi mentali coinvolti nell'analisi e nella risoluzione di problemi in modo creativo, attraverso la definizione accurata dei passaggi logici e operativi necessari per giungere a una soluzione, formalizzabili tramite comandi precisi, sequenziali ed eseguibili da un essere umano o da una macchina (Wing, 2008). Come sottolineato da Wing (2006; 2008; 2011) e da Brennan e Resnick (2012), esso rappresenta un insieme di abilità trasversali applicabili a molteplici domini, tra cui la formulazione dei problemi, l'individuazione di *pattern*, la scomposizione di compiti complessi in sotto-problemi e la verifica iterativa delle soluzioni mediante *debugging*. Dopo l'intervento teorico di Wing e del *National Research Council* (2010), diversi autori (Brennan & Resnick, 2012; Catlin & Woollard, 2014; Piedade *et al*., 2020) hanno ulteriormente approfondito il concetto, delineandolo come un costrutto multidimensionale che consente di affrontare problemi con il rigore dell'informatica. Tra le competenze fondamentali vi sono il *problem posing*, il *problem finding* e il *problem solving*,

[4] L'espressione "K-12" è comunemente utilizzata per indicare il sistema dell'istruzione pubblica preuniversitaria. L'acronimo comprende la lettera "K", che sta per Kindergarten (cioè la scuola dell'infanzia), e il numero "12", che si riferisce al dodicesimo anno di scuola, corrispondente generalmente all'ultimo anno della scuola secondaria di II grado, frequentato intorno ai 18 anni. Questo termine, dunque, delimita l'intero percorso educativo che va dalla scuola primaria fino alla conclusione della scuola superiore.

insieme a capacità di astrazione, riconoscimento di *pattern* e gestione efficace delle informazioni attraverso l'uso delle tecnologie digitali. Nel modello di Brennan e Resnick (2012), il pensiero computazionale si articola in tre sottodimensioni: concetti (sequenze, cicli, condizioni e, più in generale, la logica computazionale), pratiche (progettazione e iterazione del codice, *testing* e *debugging*) e prospettive (atteggiamenti e *agency*, collaborazione, creatività e riflessione metacognitiva). In tale prospettiva, il pensiero computazionale si configura come alfabetizzazione cognitiva per il XXI secolo (Bers, 2021), in continuità con il *problem solving* matematico, il *design* ingegneristico e l'analisi scientifica (Selby & Woollard, 2013), con evidenti implicazioni curricolari rilevanti già a partire dalla scuola dell'infanzia (CSTA & ISTE, 2011; Sullivan & Bers, 2018).

Nell'ambito di questa cornice si collocano il *coding* e la RE, che rappresentano due strumenti privilegiati per sviluppare tali competenze. Il *coding*, inteso come l'attività di scrittura di codice, costituisce un'occasione immersiva e sfidante, capace di promuovere l'espressione personale e la crescita cognitiva. Tale pratica privilegia una visione d'insieme, accoglie l'errore come risorsa e valorizza il fallimento come opportunità di apprendimento. I *bug*, infatti, vengono riconosciuti come elementi educativamente rilevanti in un processo riflessivo e ricostruttivo, in linea con la teoria della riflessione sull'azione di Schön (1983). In sintesi, il *coding* si dimostra efficace nell'affinare le abilità legate all'esecuzione sequenziale di istruzioni, al *debugging* e al *troubleshooting* (Chalmers, 2018), evidenziando il valore formativo insito nell'errore.

Autori (Hoppe & Werneburg, 2019; Selby & Woollard, 2013) e istituzioni di riferimento quali *l'International Society for Technology in Education* e la *Computer Science Teacher Association* (CSTA & ISTE, 2011), confermano che l'educazione al pensiero computazionale stimola molteplici abilità cognitive: la scomposizione (suddividere del problema in elementi più semplici), l'astrazione (focalizzarsi sugli elementi essenziali), la formalizzazione (stabilire una sequenza logica delle operazioni da compiere), la generalizzazione (riconoscere schemi ricorrenti applicabili a problemi nuovi) e la valutazione (analizzare l'efficacia e l'efficienza della soluzione individuata). Inoltre, tale educazione promuove attitudini fondamentali per l'apprendimento contemporaneo, come la fiducia nell'affrontare la complessità, la perseveranza nella risoluzione dei problemi, l'apertura ai quesiti non strutturati e il potenziamento di capacità comunicative e competenze collaborative (CSTA & ISTE, 2011).

Numerosi studi evidenziano il ruolo della RE quale potente strumento per promuovere tale tipo di pensiero, favorendo anche lo sviluppo delle abilità algoritmiche e del ragionamento logico (Atmatzidou & Demetriadis, 2015; Muñoz-Repiso & Caballero-González, 2019; Catlin & Woolard, 2014; Chalmers, 2018; Chiazzese *et al.*, 2019; Chevalier *et al.*, 2020; 2022; Cutumisu *et al.*, 2019; Ioannou & Makridou, 2018). Durante le attività di progettazione, programmazione e interazione con i robot, gli studenti sviluppano capacità di astrazione, scomposizione, *testing*, *debugging* e modellizzazione (Brennan & Resnick, 2012; Chalmers & Nason, 2017; Kazakoff & Bers, 2014). In linea con la prospettiva papertiana della "sintonia corporea", studi recenti evidenziamo come nei contesti con robot senza schermi (*screen-free)* i bambini di 5 - 6 anni alternano *frame* egocentrici e allocentrici nello svolgimento di compiti di programmazione, nonostante livelli di precisione ancora in via di consolidamento; ciò indica la necessità di compiti che esplicitino la corrispondenza tra azione e istruzione (Clarke-Midura *et al.*, 2021).

Oltre ad arricchire il repertorio cognitivo degli studenti, le competenze suddette sostengono disposizioni rilevanti per l'apprendimento, quali la perseveranza, la tolleranza dell'errore, la collaborazione e la fiducia nel governare la complessità. Fondamentale in questo processo è il ruolo dell'insegnante, il cui intervento – attraverso istruzioni chiare e *feedback* mirati – assume un valore strategico nello sviluppo del pensiero computazionale nei contesti di RE (Chevalier *et al.*, 2022). Rispetto alla didattica tradizionale, le attività di RE coinvolgono attivamente gli studenti in compiti autentici, promuovono la riflessione metacognitiva e la responsabilità nell'apprendere (Bers, 2021; Sullivan *et al.*, 2017). Studi internazionali ne documentano effetti positivi sul pensiero critico, sulla creatività e sul *troubleshooting*[5], sia con l'utilizzo di robot fisici che virtuali (Wong & Cheung, 2020; Zhong & Li, 2020). In questo quadro, il confronto diretto tra ambienti fisici e virtuali non suggerisce una superiorità intrinseca dell'uno sull'altro, ma evidenzia come ciascuno orienti in modo diverso pratiche e prospettive di apprendimento. Nel *setting* fisico (ad esempio con LEGO *Mindstorms* pre-assemblati) gli studenti tendono a concentrarsi sull'agente individuale, affrontando la variabilità del mondo reale (utilizzo dei sensori) e ricorrendo più spesso a costrutti condizionali (*if-then*) e a valori costanti; producendo circuiti più articolati ma meno numerosi, ottenendo risultati migliori in quesiti "micro", relativi al comportamento del singolo robot. Nella simulazione (ad esempio con VBOT/NetLogo), invece, prevalgono iterazioni rapide, frequenti modifiche del codice, prospettive aggregate di sistema; si realizzano più circuiti di complessità inferiore, con performance migliori su quesiti "macro", riguardanti i comportamenti emergenti di più agenti. In sintesi, l'ambiente fisico enfatizza l'ingegnerizzazione e il *debugging* sensoriale, mentre quello virtuale la modellizzazione e il ragionamento sistemico (Berland & Wilensky, 2015).

Recenti studi di sintesi, in forma di metanalisi, confermano l'efficacia della RE nello sviluppo del pensiero computazionale con robuste evidenze. Wang e Xie (2024) riportano un *effect size*[6] medio (g=0.643) della RE sul pensiero computazionale, distinguendone le sottodimensioni secondo il modello di Brennan e Resnick (2012): concetti (g=0.650), pratiche (g=0.587) e prospettive (g=1.419). Gli interventi di breve durata (meno di quattro settimane) risultano particolarmente efficaci per lo sviluppo delle pratiche, mentre le attività di tipo *game-based* e lo *storytelling* appaiono promettenti per l'acquisizione concettuale e per il coinvolgimento degli studenti. Alonso-García e colleghi (2024) dimostrano l'efficacia della RE nel favorire il pensiero computazionale nella prima infanzia. Hong (2023) rileva un effetto positivo e statisticamente significativo della RE sul pensiero computazionale degli studenti K-12 (d=0.558), con effetti

[5] Per *troubleshooting* si intende il procedimento volto all'identificazione, all'analisi causale e alla risoluzione di malfunzionamenti o prestazioni anomale di un sistema, articolato in fasi di rilevazione del sintomo, delimitazione del problema, formulazione e verifica di ipotesi mediante prove controllate, intervento correttivo, validazione e documentazione (Jonassen & Hung, 2006). Nel contesto della RE comprende aspetti *hardware*, *software* e di interazione con l'ambiente ed è distinto, seppur complementare, dal *debugging*, che riguarda specificamente la localizzazione e correzione di errori nel codice.

[6] Per *effect size* si intende una misura dell'ampiezza pratica di un effetto, complementare al *p-value*, che consente di confrontare risultati tra studi e metriche diverse. Nella ricerca educativa si impiegano soprattutto la *d* di Cohen (confronto tra due medie), la *g* di Hedges (versione corretta per campioni piccoli) e la Δ di Glass (che fa riferimento alla variabilità del gruppo di controllo). Per un orientamento interpretativo si usano soglie di comodo: ≈0,20 effetto piccolo, ≈0,50 effetto medio, ≈0,80 effetto grande, ≥1,20 effetto molto grande; tali soglie sono euristiche e vanno lette nel contesto (costi, fattibilità, equità, scalabilità). Per approfondimenti si rimanda a Pellegrini, Vivanet e Trinchero (2018).

più marcati nella scuola dell'infanzia. Le modalità didattiche di gruppo e quelle basate sul *design* risultano più efficaci rispetto a quelle individuali o *inquiry-based*, e non vi è una correlazione lineare tra la durata dell'intervento e i risultati di apprendimento: ciò conferma l'efficacia di percorsi brevi e mirati. In linea con tali evidenze, la metanalisi di Zhang e Zhu (2022) conferma un impatto positivo di entità media sulle competenze cognitive e creative degli studenti K-12 (*effect size* compresi tra g≃0.62 e 0.66), con particolare efficacia nello sviluppo del pensiero creativo e nella risoluzione di problemi complessi. Sun e Zhou (2023) propongono un modello che distingue le competenze sviluppate tramite attività di RE in due tipologie: essenziali e generative. Le prime includono la conoscenza dei concetti fondamentali della programmazione e dei robot, nonché le abilità pratiche operative; le seconde, invece, comprendono il pensiero computazionale, la motivazione, l'autoefficacia, le credenze sull'apprendimento e le funzioni cognitive come memoria e attenzione. I risultati del loro studio evidenziano che attività di RE incentrate sulla risoluzione di problemi matematici rafforzano prevalentemente le abilità essenziali, mentre quelle interdisciplinari – in particolare nell'ambito STEM – potenziano maggiormente le abilità generative. Inoltre, emergono differenze nelle modalità di lavoro: le attività individuali risultano più efficaci per lo sviluppo di abilità essenziali, mentre quelle cooperative si dimostrano più indicate per il potenziamento di quelle generative. Wong e colleghi (2024) hanno esaminato il processo di sviluppo del pensiero computazionale in alunni della scuola primaria, concentrandosi sul pensiero algoritmico e sul *debugging* attraverso la programmazione visuale a blocchi, evidenziando miglioramenti significativi con effetti maggiori per il pensiero algoritmico e risultati più marcati nelle studentesse. In linea con altre evidenze (Kim *et al.*, 2021; Sun *et al.*, 2022) lo studio suggerisce che le ragazze ottengono punteggi più alti nell'astrazione mentre i ragazzi sono più interessati a compiti di programmazione e risoluzione operativa di problemi.

Storicamente associato all'informatica, il pensiero computazionale è oggi inteso come un sapere trasversale, una forma di attitudine e un insieme di competenze generali fondamentali per affrontare le sfide del XXI secolo (OECD, 2016). Le attività di RE rappresentano un contesto particolarmente favorevole a stimolarle, poiché incoraggiano gli studenti a confrontarsi attivamente con concetti come algoritmi, moduli, cicli, sequenze e variabili (Sullivan *et al.*, 2017). Bers (2021) offre una visione più ampia del pensiero computazionale, interpretandolo non solo come un processo risolutivo ma anche come un'attività espressiva capace di abilitare nuove forme di comunicazione. In questa prospettiva, molte attività quotidiane, come classificare oggetti (ad esempio i Lego) o seguire una ricetta, rappresentano occasioni concrete per esercitarlo, anche fuori dal contesto strettamente informatico (Wing, 2008). La valorizzazione di tali abilità si rivela dunque essenziale per promuovere una cittadinanza consapevole in una società sempre più digitale e tecnologica.

In conclusione, la ricerca di Zhang e colleghi (2021), nel confermare l'impatto positivo, seppur moderato, della RE sullo sviluppo del pensiero computazionale, sottolineano l'importanza di progettare percorsi laboratoriali concreti, focalizzati sull'interazione con i robot e strettamente collegati ai contenuti curricolari delle discipline STEM. Inoltre, suggeriscono di avvalersi delle potenzialità dell'intelligenza artificiale per implementare esperienze di educazione assistita dal robot, progettare contenuti calibrati per difficoltà crescente, differenziare le attività didattiche in base al potenziale cognitivo degli studenti, e promuovere forme di

apprendimento collaborativo e creativo, come le *escape room* didattiche con la RE (Negrini *et al.*, 2023; 2024). In questa prospettiva, la RE presenta una pluralità di vantaggi che ne giustificano l'adozione in contesti scolastici differenti. Il robot si configura come un mediatore attivo del processo di apprendimento, capace di restituire *feedback* immediati e di valorizzare l'errore come opportunità di ristrutturazione cognitiva, trasformandolo in una risorsa a valenza positiva (Bers *et al.*, 2014). L'apprendimento si realizza in ambienti condivisi e tangibili, in cui spazi e azioni assumono una dimensione concreta e osservabile, rafforzando i processi di *embodied cognition* (Ching & Hsu, 2024). Ulteriori benefici derivano dal carattere intrinsecamente interdisciplinare della RE, che integra informatica, meccanica, elettronica e matematica, favorendo ampie connessioni con differenti ambiti del sapere (Hong, 2024). La dimensione laboratoriale delle attività favorisce la didattica attiva e lo sviluppo di competenze trasversali, come la collaborazione, la comunicazione e il *problem solving* condiviso (Wang & Xie, 2024). In questo quadro, si ridefinisce anche il ruolo del docente, che da semplice trasmettitore di contenuti diventa facilitatore e regista del processo di apprendimento, sostenendo gli studenti nella costruzione autonoma delle conoscenze (Ioannou & Angeli, 2016). Di conseguenza, la RE non rappresenta soltanto un'innovazione tecnologica, ma si configura come un'opportunità pedagogica in grado di promuovere apprendimenti significativi, motivanti e orientati allo sviluppo di competenze. Essa funge da catalizzatore per la convergenza dei saperi disciplinari, favorendo approcci integrati nelle aree STEM e sostenendo lo sviluppo di competenze logiche, critiche e creative, come approfondito nel paragrafo successivo.

1.3.2 Robotica educativa, STEM e abilità di pensiero

La RE ha suscitato un crescente interesse all'interno delle discipline STEM, in quanto si è dimostrata efficace nel facilitare la comprensione di concetti tecnologici e scientifici, potenziando allo stesso tempo le capacità di *problem solving* (Melchior *et al.*, 2005). Benché la RE sia stata integrata in numerose discipline della scuola primaria e secondaria, le revisioni sistematiche confermano che gli interventi più diffusi e documentati riguardano principalmente l'ambito STEM (Anwar *et al.*, 2019; Benitti, 2012; Ching *et al.*, 2019; Kyriazopoulos *et al.*, 2021; Tzagkaraki *et al.*, 2021). Ripensando agli albori della programmazione didattica per bambini, è interessante sottolineare che il primo ambiente progettato a tale scopo – il Logo, ideato da Papert (1980) – nacque proprio con l'intento di insegnare concetti geometrici. Le attività di RE si sono rivelate particolarmente efficaci nel supportare lo sviluppo delle competenze logico-matematiche, soprattutto nei bambini in età prescolare e nei primi anni della scuola primaria (Muñoz *et al.*, 2020). Numerose ricerche evidenziano il ruolo della RE nello sviluppo delle abilità cognitive complesse come la visualizzazione spaziale e la rotazione mentale, fondamentali per l'apprendimento delle discipline STEM. In particolare, lo studio sperimentale condotto da Hauser, Stern e Komm (2025) ha confrontato l'efficacia della RE con quella della *Turtle Geometry*, evidenziando miglioramenti significativi in entrambi gli approcci, ma con un impatto più marcato nel gruppo che ha lavorato con robot fisici. L'interazione tangibile con robot mobili ha permesso agli studenti di acquisire una comprensione più profonda delle relazioni spaziali, grazie al movimento reale degli artefatti nello spazio. I risultati suggeriscono che la manipolazione concreta di oggetti robotici offra un vantaggio cognitivo rispetto a contesti

esclusivamente digitali, sostenendo lo sviluppo di abilità spaziali e potenziando l'apprendimento nelle aree STEM sin dai primi anni della scuola primaria. Anche in contesti di competizioni educative, numerose ricerche hanno confermato il potenziale della RE nel favorire sia il pensiero computazionale che la risoluzione di problemi complessi (Balestra, 2018; Barak & Zadok, 2009; Chalmers, 2018; Hamilton *et al*., 2020; Luccio, 2019; Mortari *et al*., 2020; Scippo & Ardolino, 2021; Sullivan & Bers, 2019; Tocháček *et al*., 2016). È ampiamente condivisa, inoltre, l'idea che esista una connessione profonda tra la matematica e la programmazione informatica (Nemiro, 2020). Un'ulteriore conferma dell'efficacia della RE proviene dalla metanalisi condotta da Montuori e colleghi (2024): i risultati indicano un effetto positivo e statisticamente significativo sull'apprendimento, con impatti particolarmente rilevanti nella scuola dell'infanzia e nei primi anni della primaria. La RE ha dimostrato di essere efficace non solo nelle discipline STEM ma anche in ambiti linguistici, con una maggiore efficacia in programmi intensivi e ben strutturati. L'interazione tangibile con i robot, l'apprendimento attivo e il ruolo del docente come facilitatore emergono come fattori chiave per il successo didattico. In linea con questi risultati, anche la metanalisi sul ruolo della RE in ambito STEM di Bai e Tian (2025) che ha esaminato 28 studi empirici per valutare l'impatto della RE su tre dimensioni chiave: la conoscenza concettuale, le abilità applicative e l'atteggiamento verso l'apprendimento. I risultati evidenziano effetti positivi statisticamente significativi in tutte le aree analizzate, con una maggiore efficacia rilevata tra gli studenti della scuola primaria e in interventi di durata superiore alle quattro settimane. In particolare, la RE si è dimostrata utile nel promuovere una comprensione più solida dei concetti STEM (g=0.636), nello sviluppo di abilità pratiche come la programmazione e il *problem solving* (g=0.663), e nel rafforzamento della motivazione e dell'*engagement* scolastico (g=0.422). L'efficacia degli interventi è risultata maggiore quando gli stessi vengono incardinati in metodologie didattiche attive. In particolare, il *project-based learning* esercita un effetto elevato sull'atteggiamento verso l'apprendimento e il *problem-based learning* incrementa la padronanza della conoscenza concettuale e delle abilità applicative. Lo studio raccomanda altresì l'adozione di robot di facile utilizzo e appropriati all'età/sviluppo, così da fornire un supporto cognitivo ed emotivo agli studenti; in tal senso i kit robotici da assemblare e quindi personalizzabili rappresentano l'approccio prevalente, con evidenze di effetti positivi di entità moderata. Lo studio sottolinea, inoltre, la necessità di una formazione specifica per gli insegnanti, al fine di favorire un'integrazione pedagogicamente coerente della robotica nei curricoli scolastici. In questa prospettiva, la RE emerge come un potente strumento didattico, capace di promuovere apprendimenti significativi e di ridurre il divario tra teoria e pratica nell'educazione scientifico-tecnologica.

In un'ottica interdisciplinare, la RE risulta efficace nel promuovere lo sviluppo di competenze cognitive, abilità di pensiero e relazionali, come il *problem solving*, la pianificazione, il ragionamento logico, l'astrazione e il controllo inibitorio (Arfé *et al*., 2019; 2020; Castro *et al*., 2019; Di Lieto *et al*., 2017; 2020b; Görgen *et al*., 2020; Marras *et al*., 2024a; Montuori *et al*., 2024; Sáez López *et al*., 2021; Yilmaz & Koc, 2020). A ciò si affianca l'impiego di artefatti robotici progettati e stampati in 3D (De Souza & Elisiario, 2019; Di Tore *et al*., 2019; Pakman *et al*., 2023), i quali permettono di coniugare l'apprendimento del pensiero computazionale con lo sviluppo delle competenze digitali, attraverso la creazione concreta di oggetti personalizzati generati a partire da modelli virtuali. Sono numerose le evidenze empiriche a confermare tali risultati.

Yang e colleghi (2013), ad esempio, rilevano significativi miglioramenti nel pensiero critico, creativo e nel *problem solving* in seguito a un intervento annuale di *coding* finalizzato allo sviluppo di giochi interattivi. Zhong e Li (2020), attraverso uno studio comparativo tra attività individuali e a coppie nella progettazione di robot creativi, mostrano come il lavoro collaborativo favorisca la risoluzione di un numero maggiore di problemi. L'utilizzo della robotica in ambito scolastico risulta rilevante anche per lo sviluppo di competenze in aree disciplinari specifiche, come la meccatronica o l'informatica, e per l'integrazione di moduli specialistici all'interno dell'educazione tecnica (Mitnik *et al*., 2008). Promuovere il pensiero computazionale è un obiettivo STEM (Pinghong *et al*. 2022), tuttavia, le applicazioni di RE si estendono ben oltre il pensiero computazionale e le abilità logico-analitiche. Diversi studi dimostrano infatti che gli strumenti informatici e robotici possono favorire l'apprendimento anche in altre discipline dell'ambito STEM (Benitti, 2012; Ching *et al*., 2019; Nugent *et al*., 2009; Stergiopoulou *et al*., 2017; Sullivan, 2008; Taylor, 2016; Toh *et al*., 2016), offrendo sia motivazione sia un migliore ancoraggio concettuale (Ajlouni, 2023; Daher, 2022; Kaloti-Hallak, 2014; Theodoropoulos *et al*., 2017). In uno studio sperimentale, Gürkez (2021) evidenzia che gli studenti coinvolti in un laboratorio di *coding* e RE non solo ottengono risultati scolastici migliori, ma sviluppano anche una maggiore consapevolezza metacognitiva e senso di responsabilità verso il proprio apprendimento.

Indipendentemente da fattori come genere, età o provenienza geografica, la RE si è dimostrata capace di stimolare l'interesse e rafforzare la motivazione degli studenti verso l'apprendimento delle materie STEM (Sapounidis & Alimisis, 2021; Scaradozzi *et al*., 2019b). L'adozione di metodi computazionali in discipline diverse dall'informatica ha messo in luce la rilevanza dell'introduzione precoce di questi approcci già nei curricoli della scuola dell'infanzia. Zhang e colleghi (2021) fornisce raccomandazioni concrete per ottimizzare l'impiego della RE, descrivendo percorsi laboratoriali ancorati al curriculum scolastico e supportati dall'uso dell'intelligenza artificiale, con attività progressive e calibrate sulle capacità cognitive degli studenti. Un esempio efficace in tal senso è rappresentato dalla progettazione di *escape room* didattiche basate sulla RE (Negrini *et al*., 2023; 2024), utili a stimolare la collaborazione e la creatività.

In tal senso, la RE diviene uno strumento pedagogico in grado di incrementare motivazione, apprendimento e rendimento scolastico (Anwar *et al*., 2019; Athanasiou *et al*., 2019; Casad & Jawaharlal, 2012; Chin *et al*., 2014; Hong *et al*., 2016; Kubilinskiene *et al*., 2017; Lancheros-Cuesta & Fabregat, 2022; Luccio, 2019; Scaradozzi *et al*., 2015; Vlasopoulou *et al*., 2021; Yang *et al*., 2023). I robot didattici vengono impiegati sia come tutor per supportare l'apprendimento degli alunni nella scuola primaria (Obaid *et al*., 2018; Serholt & Barendregt, 2016), sia come strumenti per avvicinare gli studenti al metodo scientifico e alla riflessione sul comportamento dei robot stessi (McDonald & Howell, 2012; Tzagkaraki *et al*., 2021), sfruttando approcci didattici basati sull'indagine e sulla scoperta (Datteri *et al*., 2015; Datteri & Zecca, 2017). Le esperienze di laboratorio con la RE permettono, dunque, di affrontare una vasta gamma di contenuti disciplinari (Ashdown & Doria, 2012; Cortiana & Rigotto, 2019), con particolare efficacia nell'ambito logico-matematico (Hussain *et al*., 2006; Toh *et al*., 2016; Torre, 2019). Esperienze come l'uso degli *Ozobot* per risolvere dilemmi narrativi mostrano la possibilità di integrare creativamente il ragionamento matematico anche nei contesti liceali (Torre, 2019). Tuttavia, è opportuno

segnalare come lo studio di Lindh e Holgersson (2007) evidenzi un impatto variabile della RE sull'apprendimento della matematica, efficace solo per una parte degli studenti. Per quanto riguarda le abilità metacognitive, La Paglia e colleghi (2011) osservano un miglioramento nella riflessione e nel monitoraggio delle attività matematiche a seguito di percorsi di RE.
Anche nell'insegnamento della fisica, l'introduzione della robotica si è rivelata vantaggiosa, permettendo di esplorare in maniera esperienziale concetti come velocità, accelerazione ed effetto Doppler (Ashdown & Doria, 2012; Church *et al*., 2010; Mathers *et al*., 2012).

Infine, ricerche recenti hanno mostrato l'efficacia della RE anche nell'ambito della narrazione e della creatività. Alcuni studi hanno impiegato sistemi robotici per sviluppare capacità narrative (Muñoz-Repiso & Caballero-González, 2019; Papadakis *et al*., 2016; Sugimoto, 2011), oppure per stimolare abilità sequenziali, fantasia e immaginazione attraverso la creazione di storie (Alessandri & Paciaroni, 2012; Avello *et al*., 2020; Caci *et al*., 2007; Kazakoff & Bers, 2014; Nam *et al*., 2019). Una recente metanalisi (Wang *et al.*, 2023) ha confermato un effetto positivo, seppur moderato, della RE sui risultati scolastici, riscontrando un impatto più marcato negli studenti della scuola secondaria. La durata degli interventi non sembra influenzare significativamente l'apprendimento, come già rilevato da Cheung e Slavin (2013); tuttavia, Zhang e colleghi (2021) e Sun e Zhou (2023) raccomandano percorsi di RE della durata di circa un mese per ottenere risultati più consistenti. Infine, l'ambito disciplinare coinvolto non sem-bra condizionare l'efficacia della RE, rafforzando l'idea che essa debba essere promossa in modo trasversale all'interno del sistema educativo. L'analisi delle connessioni con le discipline STEM e con le abilità di pensiero evidenzia infatti un potenziale che va oltre il piano cognitivo e disciplinare, toccando in maniera significativa anche la sfera dell'inclusione educativa, alla quale sarà dedicato il prossimo paragrafo.

1.4 La Robotica educativa per l'inclusione

Il concetto di inclusione, in ambito pedagogico, non gode ancora di una definizione univoca e condivisa. I ricercatori della pedagogia speciale, infatti, non sono giunti a un accordo che integri coerentemente le dimensioni micro (relative ai soggetti) e macro (relative ai processi) dell'inclusione (D'Alessio & Watkins, 2009; Florian, 2014; Kinsella, 2018; Nilholm & Göransson, 2017). Tale mancanza di chiarezza si riflette in un'instabilità teorica ed epistemologica che, sia a livello nazionale che internazionale, alimenta un diffuso atteggiamento di "inclusioscetticismo" (Ianes & Augello, 2023), ostacolando la piena attuazione dei processi inclusivi nella scuola.
Di fronte a tale scenario, diventa cruciale da un lato individuare percorsi praticabili per promuovere prassi scolastiche inclusive, e dall'altro, elaborare strategie di ricerca educativa coerenti con la complessità dell'inclusione. Ciò comporta una particolare attenzione verso la progettazione didattica, verso le metodologie e verso l'integrazione consapevole delle tecnologie digitali, considerati strumenti potenzialmente strategici per una didattica inclusiva. L'uso competente della tecnologia consente, infatti, la micro-progettazione di percorsi personalizzati che favoriscono la partecipazione attiva di tutti gli studenti, adattando le attività ai loro bisogni individuali e rafforzando così il processo inclusivo.

La RE, grazie alla sua natura laboratoriale e interdisciplinare (che fonde informatica, meccanica ed elettronica), si configura come uno strumento privilegiato per creare ambienti di apprendimento flessibili e multidimensionali, in cui si intrecciano elementi tecnici, cognitivi e relazionali (Anwar *et al.*, 2019; Eguchi, 2014b). Rispetto alla didattica tradizionale, la RE promuove infatti una maggiore partecipazione attiva degli studenti, rendendo l'apprendimento più motivante e coinvolgente (Eguchi, 2014a). Rincón e colleghi (2024), mettono in luce, attraverso un'analisi ermeneutica della letteratura recente, le potenzialità della RE come metodologia didattica capace di promuovere inclusione in contesti caratterizzati da una marcata eterogeneità sociale, culturale e cognitiva. Gli autori sottolineano come il carattere attivo, ludico e funzionale della robotica favorisca la partecipazione degli studenti, stimolando competenze creative, comunicative e relazionali. In particolare, la RE contribuisce a rafforzare due dimensioni fondamentali dell'apprendimento significativo: quella emotiva, promuovendo l'autodeterminazione attraverso obiettivi motivanti, e quella cognitiva, sostenendo lo sviluppo di abilità utili anche in prospettiva professionale. In questa linea, la RE si configura non solo come tecnologia didattica, ma come dispositivo formativo capace di valorizzare la diversità e di favorire la co-costruzione del sapere.

1.4.1 UDL: principi per la robotica educativa

L'*Universal Design for Learning* (UDL) è, come è noto, un insieme di principi e linee guida messi a punto dal *Center for Applied Special Technology* (CAST, 2011) allo scopo di progettare ambienti di apprendimento capaci di garantire equità e inclusione. Le linee guida UDL, che si articolano attorno a principi desunti dalle più recenti ricerche sull'apprendimento per prevenire barriere e considerare la variabilità degli studenti fin dalla progettazione, offrono un'interessante cornice per pianificare attività di RE accessibili e personalizzabili. Seguendo i principi ripresi da Savia (2016), si riconosce che proporre esperienze didattiche uniformi non garantisce, di per sé, né accessibilità né qualità dell'apprendimento. Il *framework* dell'UDL si fonda, infatti, sull'assunto che la variabilità interindividuale rappresenti la norma, e non l'eccezione, nei contesti scolastici contemporanei. Ne deriva la necessità di progettare fin dall'inizio ambienti e percorsi di apprendimento flessibili e adattabili, capaci di offrire a ciascun alunno opportunità formative autentiche. L'UDL (CAST, 2018; 2024; Rose & Meyer, 2002) riconosce la variabilità degli studenti come un presupposto fondativo della progettazione didattica, proponendo un modello flessibile capace di ridurre le barriere all'apprendimento e di rispondere alle diverse esigenze educative. L'impianto teorico affonda le sue radici nella pedagogia speciale e inclusiva e nelle neuroscienze cognitive. Il modello si fonda sull'identificazione di tre principali reti neurali coinvolte nei processi di apprendimento (CAST, 2018):

- la rete di riconoscimento, responsabile dell'identificazione e dell'elaborazione delle informazioni sensoriali, la quale corrisponde al *"che cosa" dell'apprendimento*;
- la rete strategica, implicata nella pianificazione e nell'esecuzione delle azioni, che rappresenta il *"come" dell'apprendimento*;
- la rete affettiva, associata alla motivazione e al coinvolgimento, che riflette il *"perché" dell'apprendimento*.

Il legame tra neuroscienze e progettazione curricolare rende l'UDL un modello pedagogico scientificamente fondato e orientato a una didattica sostenibile (Savia, 2016; Baldassarre & Sasanelli, 2021). L'UDL invita i docenti a progettare ambienti e materiali didattici flessibili, capaci di rispondere alla diversità delle classi attraverso tre principi fondamentali:

- molteplici modalità di rappresentazione (il "cosa" dell'apprendimento): sottolinea l'importanza di garantire agli studenti modalità diversificate di accesso ai contenuti e alle informazioni, riconoscendo la diversità dei profili cognitivi, linguistici e sensoriali;
- molteplici modalità di azione e di espressione (il "come" dell'apprendimento): evidenzia la necessità di differenziare le modalità espressive, riconoscendo che non tutti gli studenti apprendono e comunicano allo stesso modo;
- molteplici modalità di coinvolgimento (il "perché" dell'apprendimento): mette in rilievo la motivazione, il coinvolgimento e l'attivazione emotiva, riconoscendoli come fattori determinanti per una partecipazione attiva e duratura nei percorsi formativi.

Applicare l'UDL alla RE significa, dunque, anticipare i bisogni degli studenti – cognitivi, emotivi, motivazionali – e progettare ambienti in cui ciascuno possa trovare percorsi personalizzati di accesso e partecipazione. In questa prospettiva, le attività di RE rappresentano un campo di applicazione privilegiato, in grado di tradurre i principi in esperienze didattiche significative, accessibili e personalizzate, che valorizzano le potenzialità di ciascun alunno e favoriscono l'inclusione effettiva nel gruppo classe.

In quanto componente fondamentale delle tecnologie STEM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria e Matematica), la RE, integra attività pratiche di costruzione, programmazione e controllo di sistemi robotici che favoriscono un approccio interdisciplinare, esperienziale e inclusivo all'apprendimento scientifico e tecnologico. In quest'ottica, anche la letteratura internazionale sulle discipline STEM conferma il legame con l'UDL, mostrando come l'approccio sia stato adottato efficacemente come cornice al fine di garantire l'accessibilità e la qualità dell'insegnamento in contesti caratterizzati da crescente eterogeneità (Basham & Marino, 2013). L'UDL si è rivelato un quadro concettuale potente e flessibile per rendere l'educazione alle STEM (Scienze, Tecnologia, Ingegneria e Matematica) più accessibile, coinvolgente e significativa per tutti gli studenti, in particolare per quelli con BES. Seguendo Basham e Marino (2013), si può asserire che l'integrazione dei principi UDL nella progettazione di percorsi STEM consenta di gestire la variabilità interindividuale, offrendo molteplici modalità di accesso ai contenuti, di espressione delle competenze e di coinvolgimento motivazionale. Le sfide didattiche proprie delle discipline STEM – *problem solving*, ragionamento astratto, collaborazione e pensiero critico – risultano spesso particolarmente complesse per gli studenti con BES, che incontrano barriere linguistiche, percettive o metodologiche (Dalton *et al.*, 1997; Marino, 2010). In questo senso, l'UDL offre un *framework* inclusivo che permette di progettare curricoli accessibili, materiali adeguati e strategie differenziate. Secondo Basham e Marino (2013), un percorso STEM progettato secondo l'UDL dovrebbe prevedere: (1) obiettivi chiari e condivisi, che distinguano la comprensione concettuale dall'esecuzione tecnica; (2) metodi e materiali flessibili, basati su tecnologie accessibili (video, simulatori, ambienti virtuali); (3) pianificazione intenzionale della variabilità, con attenzione ai profili specifici, alle difficoltà linguistiche e

motivazionali; (4) monitoraggio continuo e multimodale dei progressi, attraverso valutazioni autentiche (presentazioni, modelli, robot, rubriche). Inoltre, l'approccio UDL alle STEM enfatizza l'ingegneria didattica e il *problem-based learning* come modalità elettive per coinvolgere attivamente gli studenti e sviluppare competenze trasversali. L'adozione di un *engineering mindset* – inteso come atteggiamento orientato alla soluzione creativa dei problemi, all'etica, alla collaborazione e all'uso consapevole delle tecnologie – risulta pienamente coerente con la RE, che richiede l'integrazione di conoscenze matematiche, scientifiche, tecnologiche e sociali in un'ottica progettuale e interdisciplinare.
Per illustrare come tali principi possano orientare la progettazione di attività di RE, la Tabella 1 propone degli spunti che mettono in relazione ciascun principio con possibili azioni ed esempi operativi di implementazione. Si tratta di una cornice generale, che sarà ripresa nel sesto capitolo in relazione alla sua effettiva progettazione e applicazione.

Tabella 1. Progettazione di attività di RE secondo i principi UDL

	Principio UDL (CAST, 2024)		
	Progettare molteplici mezzi di rappresentazione	**Progettare molteplici mezzi di azione ed espressione**	**Progettare molteplici mezzi di coinvolgimento**
Azioni per integrare l'UDL in attività di RE	Identificare artefatti robotici che tengano conto delle differenze individuali e supportino il raggiungimento degli obiettivi didattici.	Offrire agli studenti l'opportunità di utilizzare tecnologie per costruire prodotti o artefatti che dimostrino quanto appreso e sviluppino competenze.	Selezionare robot educativi con caratteristiche (hardware/software) adeguate a stimolare la motivazione e sostenere l'apprendimento.
Esempi operativi di implementazione	- Prevedere strumenti compensativi e metodologie di *Task Analysis* per favorire l'accessibilità e l'autonomia operativa. - Usare ambienti digitali collaborativi che consentano di rispettare i tempi e le modalità di apprendimento individuali.	- Personalizzare le attività sulla base degli interessi e dei punti di forza degli studenti. - Integrare la progettazione e la costruzione di artefatti con compiti autentici e sfidanti, orientati allo sviluppo di competenze trasversali.	- Integrare la RE nella progettazione didattica attraverso attività laboratoriali stimolanti. - Scegliere ambienti di programmazione adatti alle caratteristiche cognitive e motivazionali degli studenti.

1.4.1.1 Valutare la progettazione UDL: lo strumento UDL-OMT

La crescente diffusione dei principi dell'UDL in ambito educativo – anche in Europa e nei contesti scolastici di lingua italiana – ha evidenziato l'urgenza di disporre di strumenti rigorosi per monitorare e valutare l'effettiva implementazione di tale approccio nelle pratiche didattiche quotidiane. Sebbene l'UDL offra un quadro teorico solido e articolato, uno dei limiti evidenziati nella letteratura internazionale consiste nella difficoltà di misurare in modo sistematico la qualità e l'intensità della sua applicazione in classe (Basham *et al.*, 2020; Edyburn, 2010). In risposta a questa esigenza, Basham e colleghi (2020), hanno sviluppato uno strumento osservativo semi-strutturato denominato *Universal Design for Learning - Observation Measurement Tool* (UDL-OMT), concepito per rilevare la presenza e l'efficacia dell'implementazione dei

principi UDL nel contesto di attività didattiche autentiche. Lo strumento, originariamente in lingua inglese (Basham *et al.*, 2020), si compone di 47 item, articolati in cinque dimensioni osservabili: introduzione del contenuto, rappresentazione del contenuto, espressione della comprensione, coinvolgimento degli studenti e supporto allo sviluppo di apprendimenti esperti. Ciascuna dimensione permette di valutare sia l'azione dell'insegnante, sia l'esperienza vissuta dagli alunni, secondo una scala che varia da "assenza di evidenza=0" a "implementazione dinamica e interattiva=3".

L'UDL-OMT si distingue per la sua capacità di cogliere la natura dinamica e iterativa del processo educativo, rispecchiando l'idea che la progettazione didattica debba essere adattabile, sensibile al contesto e centrata sulla variabilità degli studenti (Basham & Marino, 2013). Non si tratta, infatti, di una *checklist* prescrittiva, ma di uno strumento formativo e riflessivo che consente di osservare e documentare la presenza di strategie inclusive nell'intero svolgimento della lezione. Lo strumento è stato concepito per essere utilizzato sia da ricercatori che da insegnanti-formatori, nell'ottica di favorire processi di autovalutazione, riflessione professionale e miglioramento continuo delle pratiche inclusive. Gli item sono formulati in linguaggio accessibile al personale scolastico e direttamente collegati alle linee guida UDL 2.2 (CAST, 2018), rendendo possibile l'individuazione di aree di forza e di sviluppo nella progettazione e conduzione delle attività didattiche.

Recentemente, questo strumento è stato oggetto di un accurato processo di traduzione e adattamento interculturale in italiano a cura di Gäng-Pacifico e Rusconi (2024), secondo le linee guida dell'*International Test Commission* (ICT, 2017). Tale lavoro ha previsto un'analisi approfondita della validità semantica, idiomatica, funzionale ed esperienziale degli item, attraverso procedure di *back-translation*, revisione tra pari e validazione qualitativa e quantitativa dei pretest su un campione di insegnanti svizzeri operanti nei diversi ordini di scuola. L'adattamento ha riguardato non solo la lingua, ma anche l'adeguatezza culturale degli item per i contesti educativi svizzeri romandi e italofoni. I risultati preliminari hanno evidenziato un buon livello di chiarezza e coerenza interna, rendendo la versione italiana uno strumento promettente per la formazione e l'auto-riflessione degli insegnanti. Il questionario è stato già impiegato in osservazioni in aula (Basham *et al.*, 2020) e ha dimostrato una buona affidabilità interna ($\alpha > .80$) e capacità discriminativa tra livelli differenti di implementazione UDL. I dati raccolti suggeriscono che l'UDL-OMT può distinguere tra pratiche "pre-emergenti", "emergenti" o pienamente "osservate" in relazione all'inclusione e all'accessibilità dell'insegnamento. Tale caratterizzazione si rivela particolarmente utile anche per l'analisi nei contesti a elevata complessità cognitiva, come le discipline STEM, dove l'adozione dell'UDL può incidere significativamente sulla partecipazione e il successo di studenti con BES. Una volta completata la validazione statistica, UDL-OMT potrà rappresentare uno strumento chiave per sostenere i processi di osservazione didattica, documentazione delle buone pratiche e formazione continua del personale scolastico, in particolare nei percorsi legati alle discipline STEM, dove la progettazione accessibile e flessibile assume un valore strategico (Basham & Marino, 2013; Gäng-Pacifico & Rusconi, 2024). Infine, l'introduzione di strumenti strutturati e validati come l'UDL-OMT si colloca in una prospettiva più ampia di evoluzione della scuola inclusiva, fondata sull'evidenza e sulla qualità dei processi educativi. La disponibilità di strumenti di osservazione scientificamente fondati e condivisi a livello internazionale consente di sostenere una cultura

professionale orientata alla ricerca, al monitoraggio sistematico e all'autovalutazione critica. Tali strumenti permettono di superare approcci didattici estemporanei o non strutturati, favorendo invece pratiche progettuali consapevoli, capaci di rispondere alla diversità dei bisogni presenti nei contesti scolastici.
In questa prospettiva, l'UDL-OMT si configura non solo come un dispositivo utile per la documentazione e l'analisi delle buone pratiche, ma anche come una risorsa strategica per la formazione iniziale e in servizio dei docenti, per la valutazione dell'impatto dei percorsi scolastici e per la progettazione di curricoli accessibili e flessibili. Ciò risulta particolarmente rilevante non solo nelle discipline STEM ma anche nelle attività di RE, dove l'adozione di approcci UDL può fare la differenza nel garantire la piena partecipazione e il successo formativo di tutti gli studenti, inclusi quelli con BES. L'osservazione sistematica della progettazione e dell'erogazione di attività di RE mediante strumenti come l'UDL-OMT consente infatti di valutare se le esperienze proposte includano adeguate modalità di accesso ai contenuti (es. uso di ambienti visuali e multisensoriali), di espressione delle competenze (es. compiti personalizzabili, interfacce differenziate) e di coinvolgimento motivazionale (es. sfide autentiche, approcci narrativi e gamificati). In tal modo, è possibile promuovere una RE realmente inclusiva, capace di rispondere alla varietà dei profili di apprendimento, delle modalità espressive e dei livelli di partecipazione presenti nella classe. Strumenti come l'UDL-OMT costituiscono pertanto un'opportunità concreta per orientare l'innovazione didattica nella RE su basi scientifiche progettualmente fondate, contribuendo allo sviluppo di pratiche educative capaci di combinare efficacia, equità e sostenibilità.

1.4.1.2 Intelligenza Artificiale e UDL: sinergie per l'inclusione

Oltre agli strumenti osservativi, il panorama delle tecnologie emergenti – in particolare l'intelligenza artificiale (IA) – apre nuove prospettive per l'inclusione e la personalizzazione didattica, mantenendosi perfettamente in sinergia con i principi UDL come quelli già illustrati. L'integrazione dell'IA nella progettazione didattica costituisce una delle sfide più rilevanti e promettenti per la scuola di oggi. Le potenzialità trasformative offerte da strumenti basati su IA – in particolare quelli generativi, come i *Large Language Models* (LLM) o gli *Intelligent Tutoring Systems* (ITS) – appaiono in grado di contribuire in modo sostanziale alla personalizzazione degli apprendimenti, alla riduzione delle barriere e all'adattamento dei percorsi didattici alle esigenze eterogenee degli studenti, in coerenza con i principi dell'UDL (CAST, 2024).
Nel contesto della scuola del I ciclo, l'IA può essere impiegata per progettare ambienti di apprendimento adattivi, promuovere strategie didattiche inclusive e sviluppare materiali didattici accessibili. Gli strumenti basati sull'IA generativa, ad esempio, i *chatbot* educativi come ChatGPT, è noto che siano in grado di simulare conversazioni interattive con gli studenti, offrire *feedback* immediati, supportare la comprensione di testi complessi o facilitare la produzione di elaborati scritti e multimediali. Inoltre, queste tecnologie potrebbero essere dei validi supporti per gli insegnanti nella progettazione di risorse didattiche differenziate e attività personalizzate, generando testi calibrati sui livelli linguistici degli alunni, quiz, rubriche valutative o *script* per scenari di apprendimento gamificati (Mai *et al.*, 2024; Marrone *et al.*, 2024).

Come suggerito dal *framework* di Tucker e Novak (2025), che integra approcci come l'UDL (CAST, 2024), l'*Understanding by Design* (Wiggins & McTighe, 2005) e la Differenziazione Didattica (Tomlinson, 2014), l'IA generativa ha il potenziale per fungere da co-progettista di curricoli didattici, offrendo agli insegnanti strumenti flessibili per la costruzione di percorsi di apprendimento coerenti anche con i principi dell'UDL. In tal senso, l'IA supporterebbe i docenti anche nel processo di *backward design*, favorendo l'identificazione di obiettivi formativi attesi chiari e accessibili, la scomposizione degli standard in concetti e abilità chiave (*unpacking*) e la creazione di esperienze formative differenziate. Nel contesto della scuola primaria, questo approccio ha mostrato particolare efficacia nella progettazione di attività matematiche, linguistiche e interdisciplinari che integrano contenuti curricolari con elementi motivazionali e creativi. Ad esempio, partendo da standard disciplinari complessi, l'IA può generare narrazioni inclusive, linguaggio accessibile e istruzioni multisensoriali, contribuendo a rendere l'apprendimento più comprensibile e coinvolgente per tutti gli alunni, incluse le studentesse e gli studenti con BES. In linea con i tre principi dell'UDL (CAST, 2024), l'IA consentirebbe quindi di ampliare la rappresentazione attraverso la generazione automatica di immagini, schemi, riassunti o testi semplificati; di diversificare le modalità di azione ed espressione, promuovendo compiti autentici e prodotti multimodali; e di potenziare il coinvolgimento, offrendo scenari personalizzati, *feedback* immediati e percorsi a scelta che stimolano l'autonomia e la motivazione (Tucker & Novak, 2025). Tuttavia, le autrici sottolineano come il valore trasformativo dell'IA dipenda dalla capacità degli insegnanti di utilizzarla in modo intenzionale, critico e riflessivo. Non si tratta di "automatizzare" l'insegnamento, ma di elevare la qualità della progettazione educativa, ampliando le opportunità di accesso, partecipazione e successo per tutti gli studenti. In tal senso, il docente rimane figura insostituibile nella progettazione e nell'adattamento delle risorse, nella mediazione didattica e nella valutazione dell'impatto delle tecnologie introdotte. In definitiva, l'IA va intesa come alleato del docente e non come sostituto: il suo impiego richiede sempre mediazione pedagogica, attenzione alle implicazioni etiche e di *privacy*, nonché una riflessione critica sui possibili *bias* algoritmici. Solo in questo quadro l'IA può contribuire a una scuola realmente inclusiva e orientata all'equità.

Particolarmente rilevante è anche l'uso degli ITS, piattaforme didattiche che monitorano in tempo reale le interazioni degli studenti e adattano il livello di difficoltà, i contenuti e il ritmo dell'insegnamento in funzione delle risposte e delle *performance*. Questi strumenti, integrando componenti di *gamification* e analisi predittiva, potrebbero supportare non solo l'acquisizione di competenze disciplinari, ma anche lo sviluppo di funzioni cognitive come la memoria di lavoro, la pianificazione e la regolazione emotiva (Xu *et al.*, 2023). Tuttavia, come evidenziato da Marras e colleghi (2025), affinché l'IA possa effettivamente incidere sulla qualità dell'educazione inclusiva, è necessario che la sua integrazione avvenga all'interno di cornici pedagogiche intenzionali, con il supporto di docenti competenti e consapevoli. In questa direzione, il modello TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) rappresenta un quadro di riferimento utile per guidare lo sviluppo professionale degli insegnanti, promuovendo un'integrazione equilibrata tra conoscenze tecnologiche, contenutistiche e didattiche (Mishra & Koehler, 2006; Miao & Cukurova, 2024).

All'interno del quadro dell'UDL, l'IA può agire come facilitatore trasversale rispetto ai tre principi:

- *Per la rappresentazione*: strumenti di *text-to-speech*, semplificazione automatica, traduzione multilingue e supporti visivi interattivi ampliano l'accessibilità dei contenuti, soprattutto per studenti con difficoltà linguistiche o disturbi specifici dell'apprendimento (Chen *et al.*, 2020; Holstein & Aleven, 2022).
- *Per l'azione ed espressione*: piattaforme AI consentono agli alunni di dimostrare ciò che hanno appreso attraverso modalità alternative, come la produzione di video, audio, codici programmati o materiali multimediali, favorendo un'espressione autentica delle competenze (Smith *et al.*, 2024).
- *Per il coinvolgimento*: ambienti personalizzati, *feedback* istantanei, narrazioni interattive e sistemi gamificati stimolano la motivazione, la partecipazione e la perseveranza, anche nei casi di difficoltà autoregolative o disinteresse scolastico (Zhang *et al.*, 2022).

Infine, è fondamentale sottolineare che l'IA non sostituirebbe l'insegnante, ma lo affiancherebbe come alleato strategico, ampliandone le possibilità di progettazione e intervento. L'efficacia dell'IA in ambito educativo dipende, infatti, dalla capacità degli insegnanti di selezionare, adattare e governare questi strumenti in modo critico e responsabile, valutandone costantemente l'impatto pedagogico. Solo attraverso una formazione continua e consapevole sarà possibile fruire dell'IA per promuovere contesti educativi realmente accessibili, personalizzati e orientati allo sviluppo integrale di ciascun alunno.

1.4.2 Laboratorio di robotica come dispositivo inclusivo

Il paragrafo precedente ha evidenziato come l'UDL offra una cornice trasversale per progettare attività di RE inclusive e motivanti. In questa prospettiva, il metodo degli Episodi di Apprendimento Situato (EAS) – che sarà approfondito nel terzo capitolo – coniuga l'individualizzazione degli interventi con la valorizzazione del lavoro collaborativo, favorendo l'autonomia di pianificazione, l'assunzione di prospettive altrui e lo sviluppo di un senso di appartenenza al gruppo. L'inclusione si manifesta così come la capacità di esercitare l'agire comunicativo, decentrandosi e orientandosi verso l'altro attraverso un dialogo autenticamente interpersonale (Rivoltella, 2015). In questo modo, gli EAS diventano strumenti capaci di ridefinire i confini dell'inclusione, trasformando la diversità in risorsa e promuovendo una cultura di appartenenza condivisa. Il docente, in questo quadro, assume il ruolo di facilitatore e guida, accompagnando il processo e fornendo *feedback* mirati volti a consolidare concetti e correggere eventuali misconcezioni. Ne deriva che l'inclusione scolastica non si fonda esclusivamente sui contenuti o sugli strumenti, ma su un metodo di lavoro orientato all'incontro con l'altro e alla valorizzazione delle differenze, con attenzione alle dimensioni spaziali, sociali e culturali dell'inclusione (Rivoltella, 2015). Tali dimensioni si declinano in tre idee complementari: inclusione come appartenenza, come accoglienza e come riconoscimento, che si alimentano attraverso relazioni positive tra docente e alunni in un clima di classe favorevole alla crescita

personale e al benessere collettivo. In coerenza con l'impostazione che valorizza mediazione didattica e clima di classe, il filone del *Teaching Brain* proposto da Rodriguez (2012) offre una chiave utile: concepisce l'insegnamento come fenomeno dinamico e situato, non riducibile alla mera trasmissione, e pone al centro la relazione educativa. In questa prospettiva, il docente inferisce la Teoria della Mente degli allievi per pianificare, valutare e riorganizzare in itinere spiegazioni, obiettivi e sostegni, esercitando un'abilità metacognitiva che richiede adattamento continuo alle differenze individuali. Ne consegue che l'inclusione dipende primariamente da pratiche relazionali intenzionali – non dalla sola tecnologia – capaci di rendere accessibili i compiti e di sostenere la partecipazione di tutti; nei laboratori di RE ciò si traduce in progettazione iterativa, riscontri mirati e gestione collaborativa dei gruppi. Le tecnologie della RE dovrebbero essere, dunque, orientate alla costruzione di contesti che permettano a ciascuno di partecipare attivamente ai processi di inclusione (Colás-Bravo *et al*., 2019; Di Tore *et al*., 2012, 2019; Giannandrea & Rossi, 2017; Pedemonte & Operto, 2019). È quindi fondamentale che le scelte didattiche si ispirino ai principi dell'apprendimento multimediale e considerino le forme mutate dell'apprendere (Carruba, 2014; Mura, 2015, 2019; Pinnelli, 2015; Sánchez Utgé *et al*., 2017; Sibilio, 2014; Sibilio & Aiello, 2018). Numerose sperimentazioni hanno già evidenziato il ruolo cruciale delle tecnologie, e in particolare della RE, nei processi di inclusione delle persone con disabilità. La RE si configura come uno strumento efficace nel sostenere lo sviluppo delle dimensioni affettivo-emozionali, favorendo un maggiore coinvolgimento e una più intensa motivazione negli studenti (Cortiana & Rigotto, 2019; Kubilinskiene *et al*., 2017; Lytridis *et al*., 2018). In tal senso, essa può incrementare la motivazione intrinseca (Ajlouni, 2023), la partecipazione attiva (Rusk *et al*., 2008), il coinvolgimento (Lytridis *et al*., 2020), il divertimento e l'impegno in classe (Alimisis, 2013; Han & Kim, 2009), contribuendo positivamente allo sviluppo personale degli alunni (Sisman & Kucuk, 2019). Un uso consapevole della RE contribuisce a favorire l'integrazione di tutti gli studenti, inclusi quelli a rischio di abbandono scolastico, sostenendone l'autostima, la motivazione e la resilienza (Daniela & Strods, 2018). Diversi studi sui laboratori di RE hanno messo in evidenza anche un aumento significativo della creatività degli alunni, del loro senso di autoefficacia, della coesione di gruppo e una minore incidenza della paura di commettere errori (Angel-Fernandez & Vincze, 2018; Scippo & Ardolino, 2021). Alemi e colleghi (2015), inoltre, hanno mostrato che l'impiego di robot sociali riduce i livelli d'ansia – fattore di rischio per il fenomeno della dispersione – favorendo l'interazione e diminuendo la paura di sbagliare. Gli studi evidenziano come lo sviluppo tecnologico, soprattutto attraverso il gioco, possa sostenere quindi dimensioni affettive e sociali (Bargagna *et al*., 2019; Besio, 2009, 2019; Bulgarelli *et al*., 2020; Cook *et al*., 2011; Marti & Giusti, 2010; Pearson & Borenstein, 2013; Pennazio, 2015; Robins & Dautenhahn, 2014). In particolare, i bambini, mostrano una naturale attrazione verso giochi con componenti meccaniche, che spesso catalizzano l'attenzione e operano come mediatori sociali interattivi (Cottini, 2011). In questa stessa direzione, uno studio di Van Den Heuvel e colleghi (2016) ha analizzato l'usabilità e l'efficacia ludico-didattica dei robot *Zora* e *Iromec* con bambini affetti da disabilità gravi, rilevando un apporto significativo nella promozione del gioco libero e nel raggiungimento degli obiettivi educativi prestabiliti. Nel campo dell'istruzione speciale, i ricercatori stanno approfondendo le potenzialità e le sfide legate anche all'uso dei robot sociali come tutor (Amanatiadis *et al*., 2017; Belpaeme & Tanaka, 2021; Sonderegger *et al*., 2022), confermando

che la robotica può diventare un alleato prezioso per l'inclusione, soprattutto se integrata in modo consapevole e progettualmente fondato all'interno della pratica educativa.
La RE favorisce anche lo sviluppo di competenze trasversali (Rubinacci *et al.*, 2017), dello spirito d'iniziativa, della capacità di imparare a imparare e del senso di appartenenza al gruppo, stimolando in tal senso sia la crescita di competenze socio-relazionali che la l'adozione di atteggiamenti partecipativi, propositivi e democratici. In tale prospettiva, le ricerche evidenziano lo sviluppo di competenze sociali (Mitnik *et al.*, 2008; Owens *et al.*, 2008; Toh *et al.*, 2016), del lavoro di squadra (Johnson, 2003), della collaborazione (Hong *et al.*, 2011) e dell'apprendimento cooperativo (Nourbakhsh *et al.*, 2005). Introdurre attività di RE e *coding* a scuola implica l'adozione di un approccio laboratoriale nel quale ogni alunno assume un ruolo attivo e responsabile nella costruzione del proprio sapere. L'apprendimento si realizza attraverso la collaborazione e la condivisione, con l'obiettivo di giungere, come gruppo, a una soluzione condivisa al problema posto.
In quest'ottica, è fondamentale privilegiare l'utilizzo di robot tangibili nei laboratori, piuttosto che affidarsi esclusivamente a tecnologie virtuali, per favorire proprio la collaborazione tra pari. Il lavoro in team, infatti, rafforza la fiducia degli studenti nelle soluzioni costruite insieme (Pedersen *et al.*, 2018; 2021). La robotica tangibile attiva anche il sistema motorio e contribuisce alla comprensione del linguaggio associato all'oggetto osservato, in questo caso il robot (Caruana & Borghi, 2013). Questi aspetti richiamano i principi dell'*Embodied Cognitive Science*, secondo cui i processi cognitivi sono "incarnati", ovvero radicati nel corpo, e sottolineano l'importanza della dimensione corporea nell'esperienza didattica (Sibilio, 2012).
Un'ulteriore conferma dell'efficacia della RE arriva da uno studio che ha evidenziato come gli studenti manifestino una chiara preferenza per attività basate su oggetti tangibili, le quali promuovono migliori relazioni sociali rispetto ad attività di solo *coding* (Truglio *et al.*, 2019).
I robot, nell'ambito educativo, rappresentano un ausilio prezioso nei percorsi di inclusione scolastica degli alunni con BES, offrendo risposte efficaci a differenti tipologie di necessità: disabilità intellettive (Bargagna *et al.*, 2019), ADHD (Fridin & Yaakobi, 2011), difficoltà visuo-percettive e motorie (Alvarez *et al.*, 2013; Robins *et al.*, 2012), problematiche comunicative (Bargagna *et al.*, 2019; Fontani, 2019; Pennazio & Fedeli, 2019; Pinnelli *et al.*, 2015) e condizioni di svantaggio socio-culturale. Le Linee guida attuative della Legge 170/2010[7], in materia di Disturbi Specifici dell'Apprendimento (DSA), riconoscono nelle tecnologie informatiche – tra cui rientra la RE – strumenti compensativi efficaci per il potenziamento di numerose abilità, incluse quelle visuo-spaziali. La progettazione di percorsi didattici ludiformi mediati dal robot può, dunque, rappresentare una strategia valida per l'apprendimento in ottica inclusiva. Uno studio di fattibilità condotto da Di Lieto e colleghi (2020b) ha evidenziato, attraverso osservazioni qualitative, l'importanza dell'ambiente di apprendimento generato nei laboratori di RE per favorire l'inclusione sociale e l'efficacia dell'apprendimento. Il laboratorio, guidato da un tutor esperto, può essere modellato sulle esigenze educative specifiche, rendendo possibile una reale personalizzazione didattica (Stavridis *et al.*, 2017).
Studi in contesti multietnici mostrano che i robot possono agire da mediatori simbolici e cognitivi, facilitando interazioni tra pari e attenuando barriere linguistiche (Kim *et al.*, 2021);

[7] www.gazzettaufficiale.it/gunewsletter/dettaglio.jsp?service=1&datagu=2010-10 18&task=dettaglio&numgu=244&redaz=010G0192&tmstp=1288002517919

esperienze interculturali in scuole vulnerabili confermano il potenziale inclusivo della RE (Hepp *et al.*, 2013), specie quando si adottano tecnologie accessibili e adattabili (Alimisis, 2021). In questa direzione, Alimisis (2021) distingue l'inclusione dalla mera accessibilità e propone un paradigma ispirato al costruzionismo e al movimento *maker*, indicando dei criteri per definire le tecnologie davvero inclusive: la trasparenza delle componenti, i costi contenuti, gli strumenti pensati per gli studenti, interfacce intuitive e poco tecnocentriche, così da potersi concentrare sui compiti di apprendimento più creativi e meno tecnici. Una comparazione di piattaforme e linguaggi mostra, inoltre, come combinazioni *low-cost* (ad esempio *Arduino*, *Micro:bit*, ambienti di programmazione a blocchi come *Open Roberta*/*MakeCode*) possano demistificare i robot e favorire una partecipazione più ampia.

Un ulteriore filone di ricerca ha indagato la dimensione di genere come variabile influente, rilevando come le attività di RE – soprattutto quelle incentrate sulla progettazione e programmazione – possano contribuire a ridurre il divario di genere, promuovendo la partecipazione femminile e incoraggiando l'interesse per le discipline STEM (Bagattini *et al.*, 2020; Sullivan & Bers, 2019). In tal senso, l'implementazione della RE può divenire uno strumento efficace per favorire l'equità di genere, contribuendo a superare stereotipi e disuguaglianze ancora persistenti (Bagattini & Miotti, 2022; Daniela & Lytras, 2019; Sullivan & Bers, 2019; Syriopoulou-Delli & Gkiolnta, 2021; Weinberg *et al.*, 2007).

Il quadro delineato assume particolare rilevanza in relazione ai lavori di ricerca che mirano ad approfondire in che misura il laboratorio di RE possa configurarsi come un contesto privilegiato per promuovere lo sviluppo delle *funzioni esecutive* (FE) e per sostenere prassi didattiche personalizzate ed efficaci. Un simile approccio si propone come leva per il potenziamento non solo delle competenze cognitive, ma anche di quelle trasversali, intrapersonali, interpersonali e socio-relazionali, nella prospettiva dei valori della convivenza civile, della partecipazione democratica e della piena realizzazione personale, indipendentemente dalle condizioni individuali, di salute o di apprendimento degli studenti. In questo senso, la RE si configura come un dispositivo inclusivo, in grado di promuovere pratiche didattiche efficaci e accessibili (Bargagna *et al.*, 2019; Catlin & Blamires, 2019; Conchinha *et al.*, 2016; Daniela & Lytras, 2019; Drakatos & Christou, 2023; Sullivan & Bers, 2019; Syriopoulou-Delli & Gkiolnta, 2021). Tale visione apre la strada al capitolo successivo, dedicato all'approfondimento del rapporto tra RE e FE, nodo nevralgico per la comprensione dell'impatto di queste pratiche sugli apprendimenti.

Capitolo 2

RE e Cognizione: il ruolo delle funzioni esecutive

Il docente, in quanto professionista dell'insegnamento, è chiamato non solo a possedere una solida preparazione nelle aree disciplinari di riferimento e a conoscere le strategie didattiche più efficaci per trasporle, ma anche ad avere consapevolezza dei molteplici processi che, a vario titolo, concorrono a influenzare l'apprendimento scolastico. Si fa riferimento, in particolare, ai processi cognitivi e alle risorse necessarie per attivarli, considerando l'unicità di ciascun alunno nelle sue dimensioni emotive, motivazionali e cognitive.
Nella pratica didattica quotidiana, molti insegnanti si trovano a osservare situazioni in cui gli alunni faticano a svolgere un compito in autonomia o incontrano ostacoli nell'apprendere nuovi concetti. Tali esperienze, se non opportunamente mediate, possono generare negli studenti un senso di inadeguatezza, minando la percezione di efficacia personale in un contesto – quello scolastico – cruciale per la costruzione del senso di autoefficacia (Bandura, 2000). Sebbene esperienze dirette di successo o osservazioni vicarie positive possano incrementare tale percezione, l'autoefficacia non dipende unicamente dalla prestazione in sé, ma piuttosto dall'interpretazione soggettiva che l'alunno elabora, influenzata da molteplici fattori, tra cui le convinzioni pregresse e l'impegno investito (Bandura, 1982). Promuovere il senso di autoefficacia negli studenti significa favorire lo sviluppo di abilità autoregolative dell'apprendimento (Zimmerman, 2000), ritenute predittive di un buon rendimento scolastico (Zuffianò *et al.*, 2013). La scuola è, quindi, chiamata a sostenere l'acquisizione di competenze complesse che permettano agli alunni di riflettere sui propri processi cognitivi e di potenziare l'autonomia, sia nei contesti formali e informali di apprendimento, sia nella vita quotidiana. Alcune condizioni ambientali o familiari – come la povertà di stimoli culturali e affettivi o la presenza di disturbi del neurosviluppo – possono costituire fattori di rischio per lo sviluppo di abilità cognitive centrali per la riflessione e il pensiero complesso. Queste fragilità compromettono capacità fondamentali, quali il controllo delle procedure, la gestione delle consegne e il mantenimento dell'attenzione, ostacolando l'autoregolazione dell'apprendimento. Le competenze cognitive che sostengono l'autoregolazione – come l'elaborazione di pensieri orientati al compito, la gestione adattiva delle frustrazioni e la scelta di strategie adeguate – presentano tutte una forte componente metacognitiva (Cornoldi & De Beni, 2015). Esse richiedono intenzionalità, attenzione, inibizione di risposte inadeguate e capacità di mantenere in memoria le istruzioni, elementi indispensabili per rielaborare e utilizzare le informazioni in modo funzionale.
Nel ciclo autoregolativo descritto dalla letteratura (pianificazione–monitoraggio–riflessione), le tre *funzioni esecutive* (FE) di base operano come "ingranaggi" cognitivi della metacognizione: la memoria di lavoro sostiene la pianificazione e il mantenimento degli obiettivi; il controllo

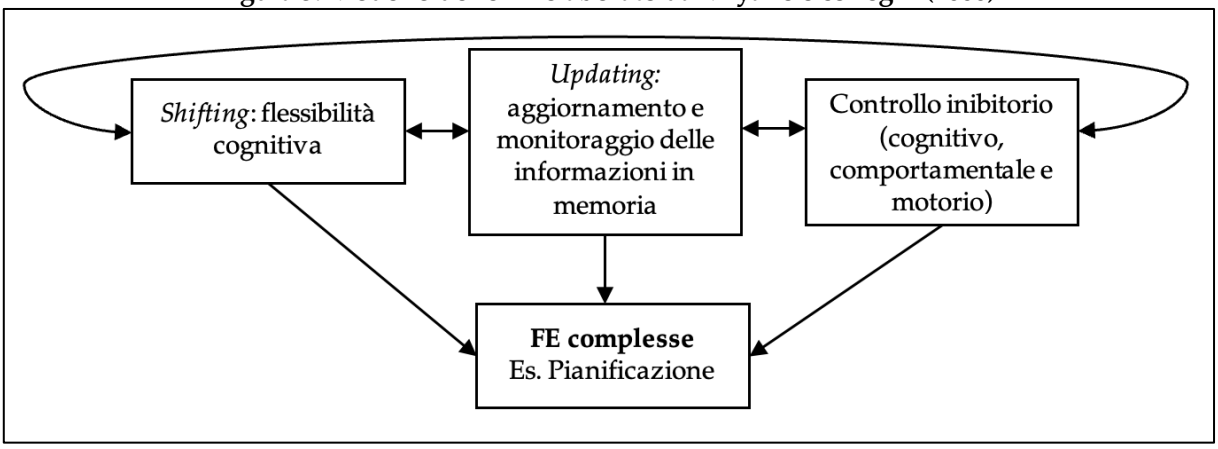
inibitorio permette di selezionare informazioni e strategie pertinenti, frenando risposte impulsive; la flessibilità cognitiva consente l'adattamento strategico quando il feedback indica che la via scelta non funziona. Sul piano motivazionale, le convinzioni di autoefficacia nell'autoregolazione dell'apprendimento (SESRL) fungono da "collante" tra FE e comportamento osservabile: studenti con alta SESRL pianificano, persistono e riorganizzano le strategie con maggiore efficacia, e questo si associa a esiti scolastici migliori anche oltre intelligenza, tratti di personalità e autostima generale (Zuffianò *et al.*, 2013).
Alla luce di ciò, appare evidente come debolezze nelle cosiddette FE – che saranno approfondite nel paragrafo successivo – possano compromettere il successo scolastico e minare la fiducia degli alunni nelle proprie capacità di apprendimento. Risulta quindi urgente sperimentare modalità di intervento capaci di stimolare tali funzioni nei contesti educativi, favorendo un apprendimento più efficace, consapevole e inclusivo.

2.1 Funzioni esecutive: definizione e ruolo

Le FE possono essere definite come un insieme di abilità cognitive complesse – tra cui pianificazione, *problem solving*, ragionamento, astrazione e formazione di concetti – che permettono agli individui di mettere in atto comportamenti intenzionali, socialmente adeguati e orientati al raggiungimento di obiettivi (Anderson, 1998; 2002). Esse svolgono una funzione di controllo e regolazione sugli altri processi cognitivi e sul comportamento, consentendo un adattamento efficace all'ambiente (Welsh *et al.*, 1991).
Il concetto di FE è stato introdotto da Muriel Lezak (1983) per descrivere quell'insieme di funzioni che rendono possibile l'esecuzione di azioni volontarie, finalizzate a uno scopo e adattabili al contesto. Tuttavia, la natura multi-componenziale delle stesse ha reso complessa una definizione operativa condivisa in ambito scientifico. Le FE costituiscono infatti un costrutto composito, articolato in sottocomponenti che si sviluppano in modo differenziato e maturano in età diverse (Leon-Carrion *et al.*, 2004), alcune delle quali si mostrano parzialmente indipendenti tra loro (Valeri & Stievano, 2007). Le FE consentono, ad esempio, di riflettere mentalmente su idee e informazioni conservate in memoria, affrontare con flessibilità situazioni nuove, inibire risposte automatiche non funzionali, gestire interferenze e mantenere la concentrazione. Le FE risultano, quindi, fondamentali per l'adattamento dell'individuo alle sfide quotidiane, poiché permettono di integrare aspetti cognitivi e motivazionali. Non a caso, la letteratura sottolinea l'interazione tra sistemi emotivi di base (Panksepp, 2007) e processi cognitivi di controllo (Castro *et al.*, 2019), evidenziando come il funzionamento esecutivo non possa essere compreso separatamente dalle dimensioni affettive.
Nel panorama teorico, la definizione delle FE resta tuttora oggetto di dibattito (Jurado & Rosselli, 2007): alcuni modelli le considerano come un'abilità unitaria (Wiebe *et al.*, 2011), mentre altri le descrivono come un insieme di processi distinti ma interconnessi. In questo lavoro si adotta il modello integrato di Miyake e colleghi (2000), ampliato successivamente da Miyake e Friedman (2012). Tale modello individua tre componenti fondamentali, espressione di processi di controllo volontario fra loro correlati ma parzialmente indipendenti: (a) lo *shifting* o la flessibilità cognitiva, ovvero la capacità di passare da un compito all'altro o di cambiare

prospettiva; (b) l'*updating*, ossia il monitoraggio e l'aggiornamento delle informazioni in memoria di lavoro, attraverso la manipolazione attiva dei dati rilevanti e (c) il *controllo inibitorio*, inteso come capacità di sopprimere risposte automatiche, impulsive o non appropriate per il raggiungimento di un obiettivo prestabilito, sia a livello cognitivo, sia comportamentale e motorio (Figura 3).

Figura 3. Modello delle FE elaborato da Miyake e colleghi (2000)

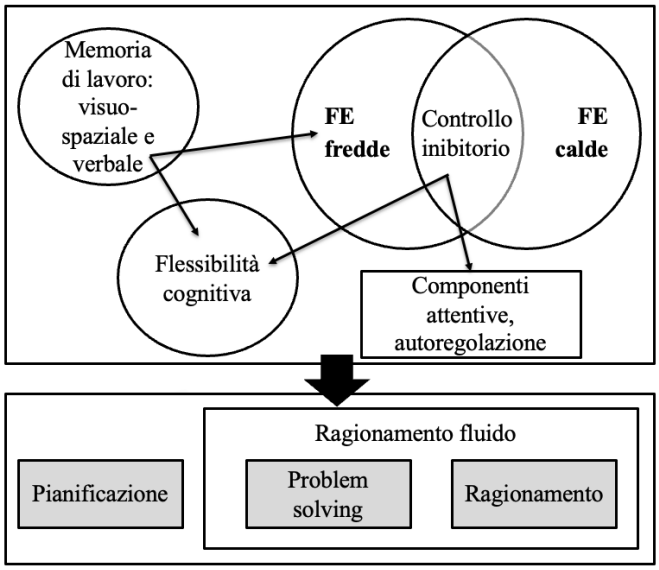


Il rapporto tra le diverse componenti delle FE è stato ulteriormente approfondito da Miyake e Friedman (2012) attraverso il modello denominato *Unity-Diversity Framework*. Secondo tale approccio, ogni componente esecutiva è il risultato di processi cognitivi che, in parte, sono condivisi tra le tre funzioni principali (*Unity*), mentre altri risultano specifici di ciascuna funzione (*Diversity*). In quest'ottica, il controllo inibitorio viene considerato una capacità centrale, trasversale e comune a tutte le altre componenti, poiché permette di mantenere attive le informazioni rilevanti per il raggiungimento di uno scopo e la sua esecuzione. Al contrario, l'*updating* e lo *shifting* includono sia aspetti centrali, come l'elaborazione di informazioni in memoria, sia caratteristiche più specifiche, quali il recupero mirato delle informazioni e la flessibilità cognitiva. Miyake e Friedman (2012) sottolineano inoltre che, pur essendo le differenze individuali nelle FE e nei meccanismi di autoregolazione piuttosto stabili lungo il percorso di sviluppo, ciò non implica che tali abilità non siano modificabili: è infatti possibile potenziarle attraverso esperienze educative mirate e adeguate strategie didattiche.

Come sintetizzato nella Figura 3, il modello di Miyake e colleghi (2000) pone le basi per la comprensione delle FE fondamentali. Tuttavia, il successivo modello di Adele Diamond (2013) ne rappresenta un'evoluzione, poiché integra le tre funzioni di base con abilità esecutive di ordine superiore come la pianificazione e il *problem solving*. Il modello della Diamond, in continuità con quello precedente, riconosce come nucleo centrale delle FE le tre componenti: controllo inibitorio (sia a livello cognitivo che comportamentale), memoria di lavoro (nelle sue componenti verbale e visuo-spaziale) e flessibilità cognitiva (*shifting* tra compiti o strategie mentali). La Diamond, che si è particolarmente concentrata sullo sviluppo delle FE in età evolutiva, attribuisce un ruolo centrale al controllo inibitorio, ritenendolo il fondamento per il funzionamento delle altre componenti. In particolare, sottolinea come lo sviluppo della memoria di lavoro, sia verbale che visuo-spaziale, consenta agli individui di mantenere attivi gli obiettivi e le intenzioni, contribuendo in modo determinante all'autoregolazione e al

controllo del comportamento. La Figura 4 illustra il modello rivisitato di Diamond (2013), qui ripreso da Vio e Guaran (2017), che integra le tre componenti esecutive di base – memoria di lavoro, controllo inibitorio e flessibilità cognitiva – con le cosiddette abilità di ordine superiore, come pianificazione, *problem solving* e ragionamento fluido. In questa prospettiva, è più semplice vedere come le FE "alimentino" le pratiche autoriflessive tipiche dell'apprendimento autoregolato, poiché le FE sono processi di controllo volti all'adattamento e alla regolazione del comportamento e dell'apprendimento e costituiscono i processi cognitivi di ordine superiore che si connettono ai processi metacognitivi (Miyake *et al.*, 2000; Zaccoletti & Mason, 2018). Nella fase di pianificazione, la memoria di lavoro mantiene vivo l'obiettivo e organizza i passi da compiere, mentre il controllo inibitorio aiuta a selezionare le informazioni davvero pertinenti, frenando risposte non adeguate e lasciando sullo sfondo distrazioni e piste fuorvianti. Durante l'azione e il monitoraggio, lo studente confronta ciò che sta facendo con ciò che aveva previsto: qui la memoria di lavoro regge il confronto continuo tra obiettivo e prestazione, sostenendo l'elaborazione di informazioni lungo il completamento di problemi a più fasi, e la flessibilità cognitiva consente piccoli aggiustamenti di rotta quando i segnali (errori, *feedback*, tempi) suggeriscono di cambiare strategia (Zaccoletti & Mason, 2018; Spiegel *et al.*, 2021). Sul piano emotivo-motivazionale, la capacità inibitoria frena impulsi e frustrazione nei momenti critici (ad esempio, quando una consegna non riesce al primo tentativo), mentre le convinzioni di autoefficacia nell'autoregolazione sostengono la persistenza e il "rilancio" dopo l'errore, in quanto gli studenti auto-efficaci non si scoraggiano di fronte agli ostacoli (Caprara *et al.*, 2008, 2011; Zuffianò *et al.*, 2013). Nella fase di riflessione, infine, la flessibilità facilita il *reframing*: lo studente rilegge l'esperienza, distingue ciò che ha funzionato da ciò che va cambiato e aggiorna il proprio repertorio strategico; in questo passaggio, il senso di efficacia nell'autoregolazione rende più probabile un'attribuzione funzionale (ad esempio il pensare: "posso migliorare cambiando approccio") e non fatalistica, trasformando le predisposizioni di base in comportamenti adeguati che conducono al successo (Caprara *et al.*, 2011; Zuffianò *et al.*, 2013). In sintesi, le FE di base (controllo inibitorio, memoria di lavoro, flessibilità cognitiva) forniscono le risorse di controllo, la metacognizione orchestra i processi riflessivi e l'autoefficacia ne sostiene la messa in atto: è questa alleanza che, le ricerche mostrano, si traduce in un vantaggio misurabile sul rendimento scolastico (Zaccoletti & Mason, 2018; Zuffianò *et al.*, 2013).
L'immagine (Figura 4) evidenzia inoltre la posizione centrale del controllo inibitorio, collocato all'intersezione tra le FE "fredde", più strettamente connesse ai processi cognitivi e al ragionamento logico, e quelle "calde", maggiormente legate alle componenti emotive e motivazionali (Barkley, 1997; Zelazo *et al.*, 2024). Questa rappresentazione grafica aiuta a comprendere come le diverse funzioni non operino in modo isolato, ma costituiscano un sistema dinamico e interdipendente al servizio dell'autoregolazione e dell'adattamento.
Entrambi questi aspetti concorrono a regolare il comportamento e sono fondamentali per riuscire a gestire l'apprendimento in modo efficace.

Figura 4. Modello FE rivisitato di Diamond (2013) in Vio & Guaran (2017)



Un elemento centrale del controllo inibitorio è l'autocontrollo, ovvero la capacità di non agire d'impulso, di trattenersi quando necessario. Pensiamo, ad esempio, a uno studente che riesce a rimanere concentrato su un compito anche quando è stanco o distratto, oppure a chi riesce a resistere alla tentazione di terminare in fretta un test per rileggere con calma il proprio elaborato. La capacità di attendere, tollerare la frustrazione o rinunciare a una gratificazione immediata si rivela decisiva per la riuscita scolastica. Gli studi classici sul *delay of gratification* (Mischel *et al.*, 1989) hanno infatti dimostrato come l'autocontrollo incida fortemente del rendimento scolastico, poiché consente agli studenti di affrontare compiti lunghi e impegnativi con maggiore perseveranza. Alla luce di questa centralità, la ricerca si è a lungo interrogata su come valutare in modo affidabile le capacità inibitorie. Diversi compiti sperimentali, come lo *Stroop Test* o *go/no-go*, sono paradigmi sperimentali classici ma non direttamente comparabili, sviluppati proprio per analizzare i meccanismi che permettono di bloccare risposte automatiche o di selezionare le informazioni rilevanti. Tali strumenti, pur con limiti differenti, hanno contribuito a chiarire le connessioni tra controllo inibitorio, memoria di lavoro e regolazione del comportamento. In tale direzione, esperimenti condotti con compiti specifici, come i test *go/no-go* (Jones *et al.*, 2003), mostrano come allenare il controllo inibitorio possa migliorare le prestazioni. In questi compiti, si chiede di fermarsi e non rispondere a uno stimolo, proprio come accade nella vita reale quando un bambino è sul punto di fare qualcosa ma deve trattenersi per una regola o per una nuova informazione. Allo stesso modo, quando si riduce la visibilità di una ricompensa (per esempio, mettendola dietro una barriera), anche i bambini più piccoli riescono più facilmente a non agire d'impulso e a scegliere un comportamento più riflessivo (Diamond, 1990, 1991, 2013).

Esistono diverse modalità per misurare questa capacità, come lo *Stroop Test* (MacLeod, 1991), che valuta quanto si è in grado di ignorare informazioni fuorvianti, o i già citati compiti go/no-go (Cragg & Nation, 2008), che simulano situazioni quotidiane in cui bisogna bloccare un'azione già avviata. Su questi strumenti, la ricerca si interroga ancora su quali aspetti delle FE vengano maggiormente coinvolti: per esempio, nei compiti go/no-go è chiesto ai bambini

di prepararsi a compiere un'azione e poi bloccarla improvvisamente. Un'abilità simile può tornare utile in molti contesti scolastici e di vita quotidiana. Le evidenze scientifiche dimostrano che molte forme di controllo inibitorio, sia dell'attenzione sia dell'azione, condividono basi neurali comuni (Cohen *et al.*, 2012) e risultano fortemente interconnesse. Tuttavia, l'inibizione cognitiva potrebbe seguire traiettorie differenti, mostrando una parziale indipendenza rispetto alle altre (Friedman & Miyake, 2004). Essa, infatti, presenta una maggiore associazione con le funzioni della memoria di lavoro, che ha il compito di mantenere attive le informazioni anche in assenza di stimoli percettivi diretti (Baddeley & Hitch, 1994).

La memoria di lavoro risulta cruciale nella vita quotidiana perché permette di conservare temporaneamente dati rilevanti per collegarli a nuove informazioni o esperienze. In altre parole, senza memoria di lavoro non sarebbe possibile attivare processi di ragionamento, poiché essa ci consente di creare connessioni tra concetti, scomporre informazioni complesse e costruire reti di senso. Si tratta, in un certo senso, di un processo creativo, che ci permette di elaborare ipotesi, formulare giudizi e pianificare azioni, andando oltre la semplice reazione a stimoli immediati. Per quanto riguarda la memoria di lavoro, la letteratura ha messo a punto diversi compiti sperimentali che ne esplorano i meccanismi. Tra i più utilizzati vi sono i compiti di *span* – come il *digit span* o il *word span* (Baddeley & Hitch, 1974; Daneman & Carpenter, 1980) – e gli esercizi di conteggio e di lettura complessa (Conway *et al.*, 2005). Questi strumenti richiedono di mantenere attivamente in memoria le informazioni mentre si eseguono altre operazioni cognitive, permettendo così di analizzare l'integrazione tra attenzione, ragionamento e controllo inibitorio. Il legame tra memoria di lavoro e controllo inibitorio è molto stretto: non è possibile decidere quali informazioni ignorare se prima non si è in grado di trattenerle in mente. Impegnarsi nel mantenimento attivo delle informazioni aiuta a evitare errori di inibizione e guida le azioni in modo più efficace. Quando manipoliamo i dati per elaborare nuove idee, abbiamo bisogno di concentrarci esclusivamente su quel pensiero, inibendo schemi mentali già noti e ignorando tutte le possibili distrazioni, sia esterne sia interne.
Un esempio comune di distrazione interna è quello che accade quando leggiamo un testo e, al termine della lettura, ci rendiamo conto di non aver compreso nulla perché la mente era altrove. In questi casi, l'inibizione cognitiva gioca un ruolo fondamentale, poiché ci aiuta a sopprimere pensieri irrilevanti che occupano lo spazio della memoria di lavoro, il quale è limitato (Hasher & Zacks, 1988). Il legame funzionale tra controllo inibitorio e memoria di lavoro emerge nei compiti a più fasi (come l'esempio della lettura riportato sopra): il controllo inibitorio limita l'interferenza mentre la memoria di lavoro mantiene e/o aggiorna gli stati di compito. Va sottolineato che, rispetto al modello adottato in questo lavoro, molti studiosi tendono ad attribuire alla memoria di lavoro una portata più ampia rispetto a quella proposta da Diamond (2013), arrivando in alcuni casi ad assimilarla all'intero costrutto delle FE (Baddeley & Hitch, 1994; Kane & Engle, 2002). I compiti utilizzati per valutare la memoria di lavoro richiedono spesso alti livelli di attenzione selettiva e sostenuta. Mantenere informazioni in mente, infatti, implica una forte focalizzazione attentiva su un contenuto specifico. Tra questi compiti troviamo esercizi di conteggio o lettura (Conway *et al.*, 2005), che attivano simultaneamente più sottocomponenti delle FE, per cui rappresentano un valido strumento per valutare l'intero spettro delle FE.

La flessibilità cognitiva rappresenta la capacità di modificare il proprio punto di vista, sia da una prospettiva spaziale sia interpersonale. È una delle FE che matura più tardi nel processo evolutivo (Davidson *et al*., 2006; Garon *et al*., 2008) e si fonda sullo sviluppo delle altre due componenti principali: il controllo inibitorio e la memoria di lavoro. La flessibilità cognitiva rappresenta, quindi, la capacità di cambiare strategia in base a nuove condizioni. Tale funzione è stata indagata attraverso compiti che richiedono di modificare rapidamente strategie o criteri di classificazione. Tra i più noti vi è il *Wisconsin Card Sorting Test* (WCST), che misura la capacità di passare da una regola a un'altra di fronte a *feedback* negativi (Heaton, 1981). Altri strumenti, come il *Dimensional Change Card Sort* (DCCS) per l'infanzia (Zelazo, 2006), hanno permesso di evidenziare come questa abilità emerga precocemente ma si consolidi progressivamente in età scolare, in stretta relazione con lo sviluppo della memoria di lavoro e del controllo inibitorio. Infatti, per cambiare assetto mentale è necessario saper inibire le strategie precedentemente attivate e, contemporaneamente, utilizzare la memoria di lavoro per elaborare un nuovo approccio.

In questo senso, la flessibilità cognitiva è strettamente legata alle abilità di *problem solving*, poiché consente al soggetto di modificare gli schemi mentali appresi quando questi si rivelano inefficaci per risolvere situazioni nuove o complesse. Essa si traduce quindi nella capacità di adattarsi a contesti imprevedibili, improvvisi o caratterizzati da incertezza.

Nel contesto scolastico, questa funzione è particolarmente rilevante per i docenti, i quali devono essere in grado di spiegare concetti da prospettive diverse, adottare metodologie alternative e ideare strategie didattiche creative e differenziate. Al tempo stesso, la flessibilità si rivela essenziale anche per gli studenti, chiamati a elaborare soluzioni divergenti e originali di fronte a problemi aperti o compiti non routinari.

Durante l'età evolutiva, si osserva un progressivo miglioramento della capacità dei bambini di passare da un'attività all'altra, e con la crescita aumenta la loro abilità nel pianificare e prevedere risposte agli stimoli ambientali in modo proattivo (Kray, 2006; Munakata *et al*., 2012). La flessibilità cognitiva è una funzione piuttosto complessa, che inizia a emergere in età prescolare ma si consolida intorno agli otto anni, in parallelo allo sviluppo della memoria di lavoro. Essa dipende fortemente dalle capacità inibitorie: entrambe coinvolgono risorse attentive, ma mentre il controllo inibitorio richiede di focalizzare l'attenzione, la flessibilità impone di dividerla o alternarla (Orsolini, 2019).

In sintesi, possiamo affermare che le FE entrano in gioco ogniqualvolta il compito non può essere svolto attraverso strategie automatizzate o esperienze precedenti. Si attivano, quindi, in situazioni nuove, complesse o inedite, dove è richiesta una risposta intenzionale e riflessiva.

Solo verso la fine della preadolescenza emerge una variabilità individuale significativa nelle tre FE di base (Lee *et al*., 2013), portando a un'organizzazione funzionale più simile a quella degli adulti. Da queste funzioni fondamentali si sviluppano abilità cognitive più complesse e di ordine superiore, come la pianificazione, il *problem solving*, il ragionamento logico e la capacità di adottare strategie risolutive (Collins & Koechlin, 2012; Diamond, 2013; Lunt *et al*., 2012). Tali competenze rientrano nella cosiddetta intelligenza fluida, che comprende abilità come la deduzione, l'induzione e la risoluzione di problemi attraverso la costruzione di relazioni, confronti e analogie (Ferrer *et al*., 2010).

2.2 Promuovere le funzioni esecutive a scuola

In una prospettiva neurofisiologica, le FE sono sostenute dalla corteccia prefrontale del cervello (Snyder *et al*., 2015) e rivestono un ruolo cruciale nella regolazione delle interazioni tra strutture cognitive e comportamenti messi in atto dall'individuo. Negli ultimi decenni, l'interesse scientifico nei confronti di queste funzioni è cresciuto considerevolmente, grazie alle numerose evidenze che ne dimostrano il coinvolgimento diretto nella vita quotidiana (Mischel *et al*., 2011; Moffitt *et al*., 2011), in particolare nei processi di autocontrollo e autoregolazione.
Abilità trasversali come la collaborazione, la pianificazione e la regolazione del comportamento risultano significativamente più sviluppate negli individui con un buon funzionamento esecutivo, influenzando non solo il rendimento scolastico (Borella *et al*., 2010), ma anche competenze utili in ambito professionale (Bailey, 2007). Per la loro natura trasversale e di alto livello, le FE possono essere considerate predittori affidabili del successo scolastico (Diamond, 2013; Duckworth & Seligman, 2005), oltre che prerequisiti fondamentali per l'avvio degli apprendimenti formali (McClelland *et al*., 2007) e per un passaggio efficace dalla scuola dell'infanzia alla primaria (Blair & Razza, 2007). Queste funzioni regolano infatti la pianificazione, il controllo e il coordinamento del sistema cognitivo, orchestrando l'attivazione di schemi mentali e strategie di pensiero (Cantin *et al*., 2016; Fuhs *et al*., 2014; Pellicano *et al*., 2017; Schmitt *et al*., 2017; Shah *et al*., 2017).
Tale influenza si estende anche alle capacità di autoregolazione dell'apprendimento, di socializzazione, di regolazione emotiva e di rispetto delle regole scolastiche (Orsolini, 2019), confermando il ruolo centrale delle FE non solo nei percorsi educativi di alunni con sviluppo tipico, ma anche in quelli con *bisogni educativi speciali* (BES).
Lo sviluppo delle FE si articola lungo tutto l'arco dell'età evolutiva, e il periodo compreso tra i 6 e i 12 anni, coincidente con la scuola primaria, rappresenta una fase cruciale per la loro maturazione. Le diverse componenti, infatti, si sviluppano con tempi e modalità differenti (Ferguson *et al*., 2021), risultando strettamente connesse alle tappe fondamentali dell'apprendimento scolastico (Diamond, 2013).
Secondo Garon e colleghi (2008), le FE di base (Miyake & Friedman, 2012) si sviluppano nei bambini seguendo una gerarchia ben definita: nei primi tre anni di vita sembrerebbe prevalere un'unica dimensione esecutiva, mentre tra i 3 e i 5 anni emergerebbe una distinzione tra controllo inibitorio e memoria di lavoro (Miller *et al*., 2012). Solo successivamente, con l'età, si evidenzierebbe una struttura tripartita, comprendente anche la flessibilità cognitiva (*shift*), come nel modello proposto da Diamond (2013) (Usai *et al*., 2014). In sintesi, lo sviluppo delle FE sembra seguire un percorso graduale, da una struttura unitaria a una più articolata organizzazione tripartita, anche se non esiste ancora un modello universalmente condiviso.
Tuttavia, queste traiettorie evolutive non sono ancora universalmente condivise: alcuni studi hanno dimostrato che nessun modello teorico riesce a spiegare in modo coerente tutti i campioni analizzati (Karr *et al*., 2018; Yangüez *et al*., 2025). Questa eterogeneità è in parte attribuibile alla diversità degli strumenti valutativi adottati nelle varie ricerche (Miller *et al*., 2012), il che suggerisce che – pur non essendo la struttura delle FE il focus di questo lavoro – la scelta del modello teorico di riferimento e delle misure di valutazione adottate può influenzare

significativamente le decisioni metodologiche e i risultati degli interventi (Diamond & Lee, 2011).

Il costrutto delle FE include anche le abilità legate alla programmazione e pianificazione sequenziale delle azioni, finalizzate al raggiungimento di uno specifico obiettivo, nonché le competenze nel *problem solving* (Friedman *et al*., 2006; Pennington & Ozonoff, 1996; Welsh *et al*., 1991). Questo inquadramento si avvicina alla prospettiva di Vygotsky, secondo cui le FE possono essere considerate parte delle funzioni psichiche superiori, un ponte tra il pensiero cosciente e la connessione con il corpo (Mecacci, 2017). Si tratta, in sostanza, di un pensiero che ha come oggetto l'attività cognitiva stessa: riflettere su come agire, cercare soluzioni a un problema, affrontare consapevolmente un compito.

In questo processo, il corpo fornisce informazioni che vengono elaborate dal cervello e successivamente interpretate dalla mente. Gran parte delle azioni quotidiane avviene in modo automatico, secondo schemi e routine ormai consolidate, che non richiedono un controllo cognitivo elevato. Tuttavia, quando si è chiamati ad affrontare situazioni nuove o complesse, che richiedono un adattamento, è necessario interrompere tali automatismi per riflettere, valutare e scegliere consapevolmente la strategia più adatta, sia a livello individuale sia nel lavoro di gruppo.

Prendersi del tempo per riflettere, cercare soluzioni e pianificare azioni efficaci è un comportamento comunemente associato alla capacità di ragionare e all'uso di strategie logiche. Questi processi attivano e sostengono il pensiero controllato, basato sulle FE (Orsolini, 2019). Favorire a scuola lo sviluppo del pensiero riflessivo e del ragionamento permetterebbe agli studenti di costruire conoscenze in modo più attivo, consapevole e partecipato, anche attraverso il dialogo e l'interazione (Pontecorvo, 1993). Questo approccio risulta particolarmente utile anche per gli alunni con BES.

Per promuovere un'attività didattica orientata alla valorizzazione del ragionamento, è importante mettere a disposizione degli studenti strumenti che facilitino l'autoregolazione dell'apprendimento. Tra questi, l'uso di mediatori simbolici – come schemi, mappe concettuali o grafici – può sostenere sia la produzione che la comprensione di artefatti cognitivi complessi, come la scrittura o la comprensione del testo. L'obiettivo non deve essere la semplice compensazione delle difficoltà, bensì l'ampliamento delle potenzialità individuali, affinché ogni alunno possa partecipare in modo autentico e significativo al processo di apprendimento.

È ragionevole ipotizzare che gli alunni più riflessivi, attenti e meno facilmente distraibili abbiano maggiori probabilità di ottenere successo nel contesto scolastico. Lo sviluppo delle FE influisce indirettamente, ma in modo significativo, sia sull'apprendimento sia sull'inclusione scolastica, rappresentando un importante predittore dei prerequisiti per gli apprendimenti iniziali (McClelland *et al*., 2007) e del successo scolastico in generale (Cortés Pascual *et al*., 2019; Duckworth & Seligman, 2005).

Uno studio di Moffitt e colleghi (2011) ha evidenziato che i bambini tra i 3 e gli 11 anni con buone capacità di controllo inibitorio – come saper aspettare il proprio turno, evitare distrazioni e gestire l'impulsività – hanno maggiori probabilità, da adolescenti, di proseguire con successo i propri percorsi di studio. Spesso, però, si tende a considerare l'apprendimento come un processo meccanico, basato su ripetizioni e associazioni causali, trascurando il ruolo dei processi cognitivi centrali.

Un esempio emblematico è quello dell'acquisizione della letto-scrittura, obiettivo cardine nei primi anni della scuola primaria. Imparare a leggere non si limita al semplice riconoscimento dei grafemi (le lettere) e alla loro associazione con i fonemi corrispondenti. Se questo processo non è guidato da funzioni cognitive centrali, l'alunno potrà al più decodificare simboli, ma senza comprenderne il significato. Solo quando sarà in grado di riconoscere il suono della parola, integrando grafemi e fonemi per costruire il significato del lemma, si potrà parlare di un'autentica competenza di lettura. In questo caso, la "fusione fonemica" rappresenta il punto di partenza per l'accesso alla comprensione. In sintesi se l'alunno si limita a decodificare grafemi e fonemi, non raggiunge una reale competenza di lettura: solo l'integrazione tra i processi e la costruzione del significato consente un apprendimento autentico.
Da ciò si deduce che molti compiti scolastici, anche quelli apparentemente più meccanici, richiedono l'attivazione di processi cognitivi centrali per essere effettivamente compresi e rielaborati in termini concettuali. Lavorare in classe sulla concettualizzazione permette non solo di rafforzare tali processi, ma anche di alleggerire il carico esecutivo richiesto: in altre parole, più l'alunno comprende ciò che fa, minore sarà l'impegno richiesto alle FE per applicare strategie e procedure. Le componenti attentive e inibitorie, infatti, risultano potenziate quando supportate da una comprensione profonda del contenuto (Orsolini, 2019).
Numerose abilità legate alle FE – come la capacità di posticipare una gratificazione, attendere il proprio turno, controllare il comportamento o regolare le emozioni – sono fondamentali per sostenere l'apprendimento scolastico (Orsolini, 2019). In questa prospettiva, un insegnante attento, capace di cogliere e interpretare comportamenti disfunzionali, ha l'opportunità di progettare interventi didattici personalizzati, orientati a stimolare i processi esecutivi carenti e a compensare eventuali fragilità individuali. Promuovere le FE a scuola non significa soltanto sostenere gli apprendimenti, ma anche formare studenti più autonomi, consapevoli e capaci di affrontare le sfide della vita quotidiana.

2.2.1 Funzioni esecutive nei processi di apprendimento

Le FE rivestono un ruolo centrale nei processi di apprendimento. Numerose ricerche mostrano che esse incidono significativamente sulla preparazione scolastica, talvolta più del Quoziente Intellettivo (QI) e delle competenze iniziali degli alunni (Blair & Razza, 2007; Morrison *et al.*, 2010). Inoltre, studi recenti evidenziano come un più adeguato sviluppo delle FE negli studenti favorisca una maggiore autonomia nello svolgimento delle attività scolastiche e una più efficace instaurazione di relazioni positive con gli insegnanti (McKinnon & Blair, 2018).
L'attenzione della ricerca si è spesso concentrata sulle FE come predittori dell'apprendimento, in particolare per la matematica e la lettura (Borella *et al.*, 2010; Duncan *et al.*, 2007; Gathercole *et al.*, 2004). Tali competenze dipendono dall'integrazione tra abilità specifiche di dominio (linguistiche e numeriche) e processi generali di controllo. In tale quadro, la memoria di lavoro sostiene sia le abilità linguistiche, inclusa la comprensione del testo (Christopher *et al.*, 2012), sia quelle matematiche (conteggio, calcolo mentale, pianificazione di procedure), perché consente di mantenere e manipolare le informazioni durante il compito (Caviola *et al.*, 2012; Viterbori *et al.*, 2015). Dal punto di vista applicativo, la memoria di lavoro è essenziale per

attribuire significato al linguaggio scritto e parlato, facilitando la comprensione durante lettura e ascolto; in ambito matematico, è coinvolta nel calcolo mentale, nell'ordinamento di elementi e nella pianificazione di algoritmi. Non sorprende, pertanto, che compiti apparentemente semplici diventino più onerosi per gli alunni con debolezze nella memoria di lavoro: ad esempio, durante la lettura di un brano, l'alunno deve tenere a mente le frasi precedenti per comprendere il significato complessivo del testo. Le componenti inibitorie delle FE, ovvero la capacità di sopprimere risposte automatiche o informazioni irrilevanti, sono parimenti fondamentali: aiutano gli alunni a mantenere il *focus* su stimoli pertinenti, risultando cruciali tanto nella lettura (Borella *et al.*, 2010) quanto nella risoluzione di problemi aritmetici (Gilmore *et al.*, 2015). La flessibilità cognitiva – ossia la capacità di cambiare strategia, punto di vista o modalità risolutiva – si dimostra determinante nell'apprendimento: un esempio classico è offerto dal celebre test dei fiori di Piaget e Inhelder (1977), nel quale si chiede ai bambini di considerare contemporaneamente una categoria specifica (ad esempio, "primule") e quella più ampia di appartenenza (i "fiori"). Per affrontare questo compito, è necessario un passaggio attentivo – uno *switching* – tra la parte e il tutto, abilità che richiama proprio tale funzione, strettamente connessa anche al ragionamento logico descritto da Piaget.

Come premesso, dato il ruolo predittivo delle FE – in particolare rispetto alle *performance* in matematica e lettura – si ritiene opportuno approfondire i risultati più rilevanti per identificare le componenti implicate e definirne le specifiche modalità di intervento, al fine di esplicitarne con precisione le implicazioni didattiche. La letteratura recente converge nel descrivere la competenza di lettura come esito dell'interazione tra processi specifici del dominio (fonologia, ortografia, morfologia) e processi generali di controllo, in particolare memoria di lavoro, controllo inibitorio e flessibilità cognitiva. Una rassegna sistematica mette in evidenza l'associazione di tutte e tre le FE di base con la comprensione del testo, pur segnalando eterogeneità degli esiti riconducibili a differenze di compiti e di misure adottate (Zaccoletti & Mason, 2018). Sul piano quantitativo, una meta analisi a livello di sotto abilità mostra che tutte le componenti esecutive sono significativamente correlate alla decodifica, alla fluenza e alla comprensione, con un vantaggio sistematico della memoria di lavoro, soprattutto per la decodifica e la comprensione. Emergono inoltre cambiamenti evolutivi: all'inizio della scuola primaria il controllo inibitorio e lo *shifting* si associano di più alla decodifica e alla comprensione, mentre verso la fine della scuola primaria si osserva un legame relativamente più forte con la fluenza, coerente con la riallocazione delle risorse man mano che la decodifica si automatizza (Spiegel *et al.*, 2021). Evidenze su campioni italofoni confermano la natura multifattoriale della lettura: in bambini di IV primaria, un'analisi per profili latenti e una *dominance analysis* hanno mostrato che la comprensione è sostenuta congiuntamente dalla velocità di lettura, dal controllo attentivo, dalla memoria di lavoro e dalla fluenza verbale, che insieme spiegano una quota non trascurabile della varianza ($\approx 23\%$), a riprova del ruolo sinergico tra i processi specifici e quelli dominio-generali (Pasqualotto *et al.*, 2024). Sul versante didattico, queste evidenze invitano a progettare routine che rendano espliciti i processi di lettura e reclutino intenzionalmente le FE lungo il *continuum* "decodifica → fluenza → comprensione": attivazioni di pre-lettura orientate agli obiettivi (impegno attentivo selettivo), pause di monitoraggio ("*stop-and-check*" per la coerenza globale; aggiornamento in memoria di lavoro) e auto-spiegazioni delle inferenze (*shifting* tra testo e conoscenze pregresse), modulando l'intensità del carico esecutivo in

funzione del livello di automatizzazione raggiunto (Zaccoletti & Mason, 2018; Spiegel *et al.*, 2021; Pasqualotto *et al.*, 2024). In ambito matematico, la letteratura converge nel riconoscere un contributo sistematico delle FE alla prestazione, con un ruolo particolarmente robusto per la memoria di lavoro e indicazioni più eterogenee per controllo inibitorio e *shifting*. Le rassegne mostrano che la memoria di lavoro è spesso un predittore unico dell'esito in matematica in diverse fasce d'età, mentre i risultati per le altre due FE variano a seconda di compiti, misure e fasi di sviluppo; inoltre, la struttura delle stesse funzioni tende a differenziarsi con l'età (da assetti più unitari a componenti più distinte), condizionando le relazioni osservate con le competenze matematiche. In questa cornice, la memoria di lavoro può agire sia come risorsa comune sia come "fattore limitante" per l'efficacia del controllo inibitorio e dello *shifting* nei compiti scolastici (Bull & Lee, 2014). Sul piano funzionale, la memoria di lavoro sostiene il mantenimento di sotto risultati e vincoli durante l'atto di risoluzione, la selezione e la sostituzione rapida di informazioni rilevanti (ad esempio calcoli *multistep* e problemi aritmetici); il controllo inibitorio consente di sopprimere strategie prepotenti o fuorvianti (ad esempio l'applicazione indiscriminata di regole dell'intero ai numeri razionali, la distrazione da informazioni irrilevanti nei problemi testuali); la flessibilità supporta il passaggio tra operazioni, rappresentazioni (verbale, simbolica, non simbolica) e passaggi procedurali (Cragg & Gilmore, 2014). Queste vie d'azione spiegano perché i compiti standardizzati, che intrecciano componente fattuale, procedurale e concettuale, sollecitino un profilo esecutivo composito. Un ulteriore ricerca (Cragg *et al.*, 2017) mostra, in un ampio campione (età 8–25), che la capacità di inibire risposte numeriche fuorvianti risulta collegata a conoscenze fattuali (ad esempio fatti aritmetici) e abilità procedurali (ad esempio passaggi di calcolo); sono queste conoscenze e procedure a spiegare, in gran parte, il legame con la prestazione matematica complessiva (mediazione). La memoria di lavoro contribuisce in due vie: indirettamente, perché sostiene l'acquisizione e l'uso di conoscenze fattuali e procedurali (e, in misura minore, concettuali), e direttamente, perché aiuta a costruire e mantenere la rappresentazione del problema (i dati, i vincoli e i passaggi) anche a parità di conoscenze. Questo profilo di relazioni si osserva in modo stabile dalla scuola dell'infanzia alla prima età adulta. In età prescolare, una sintesi di studi mostra che le FE sono stabilmente collegate ai primi indicatori di abilità matematica. Tutte le tre FE di base contribuiscono in misura simile e, quando vengono considerate insieme, le differenze tra i sottodomini tendono a ridursi. L'intensità del legame dipende però da come le stesse vengono misurate, il che richiama l'attenzione sulla scelta di strumenti valutativi accurati. Nel complesso, tali risultati sottolineano la rilevanza precoce delle FE per lo sviluppo dei precursori numerici e l'utilità di interventi e valutazioni tempestive (Emslander & Scherer, 2022). Progettare attività di matematica, alla luce delle conoscenze sulle FE, significa prima di tutto rendere esplicite le richieste di controllo che i compiti già contengono e orchestrare *routine* che aiutino gli studenti a rispondervi. Non si tratta di inserire specifici "esercizi di FE", ma di accompagnare il lavoro matematico con accorgimenti che, passo dopo passo, ne sostengano il ragionamento. Quando un problema richiede più passaggi, ad esempio, la memoria di lavoro non si deve sovraccaricare. In tal senso è possibile scomporre l'attività risolutiva, procedendo per piccoli step, annotando i sotto risultati (ad esempio attraverso una tabella, righe di calcolo o brevi note) e fermandosi a fare dei *check* intermedi: "che cosa ho già? che cosa mi manca?". Tale *modus operandi* consente di mantenere la traccia del ragionamento senza

disperdere le informazioni necessarie alla soluzione. In parallelo, è consigliabile allenare il controllo inibitorio: insegnare agli studenti a sospendere la prima risposta e a riconoscere i *bias* di strategia, così come a filtrare le informazioni irrilevanti nei problemi testuali. Operativamente, in tal senso, è di supporto per gli studenti evidenziare le parole-chiave, ridurre i distrattori e verificare la coerenza tra i dati e la domanda del problema. Un altro aspetto essenziale è la flessibilità cognitiva, cioè la capacità di adattare lo schema mentale quando il compito lo richiede. Si pensi a quando l'insegnante propone una tipologia di problema nuova: se le strategie note non funzionano, lo studente deve riformulare l'approccio, spostare l'attenzione su elementi diversi e sperimentare soluzioni alternative. In classe questo si traduce nel cambiare rappresentazione o metodo (passare dal verbale al simbolico o al visuo-spaziale con uno schema o un disegno) e nel porsi domande metacognitive che guidino lo *shifting*: "quale indizio mi dice che devo cambiare strategia?", "che cosa cambia se rappresento il problema in un altro modo?". Tale impostazione di lavoro, sensibile sia al gradiente evolutivo (più sostegni nelle prime classi e una progressiva riduzione nelle successive) sia alla naturale "impurità" dei compiti matematici (che attivano insieme più processi), favorisce un uso più efficiente delle risorse di controllo e aiuta gli studenti a interiorizzare *routine* di ragionamento sempre più autonome.

In prospettiva educativa, attività che rendono visibili le fasi autoregolative (es. *checklist* di pianificazione, rubriche di monitoraggio, momenti strutturati di auto-spiegazione) impegnano in modo mirato memoria di lavoro, componenti inibitorie e flessibilità; se accompagnate da esperienze di padronanza e modellamento (esempi guidati, *feedback* sul processo), rafforzano le credenze di autoefficacia nell'autoregolazione dell'apprendimento e si associano a miglioramenti del rendimento al netto di intelligenza, tratti e autostima globale. In classe, ciò si traduce in *micro-routine* come la pianificazione della soluzione prima di risolvere un problema, il monitoraggio dei compiti con brevi "*stop-and-check*", la riflessione sulle strategie e azioni che hanno funzionato – che nutrono sia i processi esecutivi sia il senso di efficacia personale (Zuffianò *et al*., 2013). Quanto suddetto evidenzia come le FE costituiscano un elemento centrale nell'intreccio tra i processi di costruzione del pensiero e le pratiche didattiche; ne consegue che il loro sviluppo e potenziamento rappresenta una leva concreta per sostenere in modo più diretto il percorso scolastico degli alunni, contribuendo a favorirne il successo formativo.

2.2.2 Funzioni esecutive e BES: implicazioni didattiche

I bambini con BES, in ragione delle loro specifiche caratteristiche neuro-funzionali, comportamentali e socio-cognitive, richiedono una didattica personalizzata fondata su un'attenta analisi del profilo di funzionamento e su percorsi educativi realmente inclusivi, capaci di favorire la partecipazione alla vita della classe e della comunità (Ianes *et al*., 2019).
Pur nella grande eterogeneità dei BES, per natura e gravità delle compromissioni – che possono coinvolgere ambiti neurologici, cognitivi, comportamentali e relazionali – numerose evidenze convergono nel rilevare, all'interno di tale popolazione, una ricorrenza di difficoltà a carico delle FE (Mitsea *et al*., 2020; Vicari & Di Vara, 2017). Sebbene si osservi una marcata variabilità tra i diversi disturbi del neurosviluppo, è stato ampiamente documentato che in

molte di queste condizioni le FE mostrano livelli di funzionamento inferiori rispetto alla norma. Questo risulta evidente in casi di svantaggio socio-culturale (Noble *et al.*, 2007), nei bambini con disturbo dello spettro autistico (ASD) (Craig *et al.*, 2016; Pellicano, 2012), con disturbi del linguaggio (Kapa & Plante, 2015; Pauls & Archibald, 2016;) e disturbi dell'apprendimento (Menghini *et al.*, 2010; Moll *et al.*, 2014; Peng & Fuchs, 2016), così come nel disturbo da deficit di attenzione e iperattività (ADHD) (Castellanos *et al.*, 2006; Di Trani *et al.*, 2011).
Alcuni studi sottolineano come uno sviluppo fragile delle FE possa condurre i bambini a manifestare comportamenti iperattivi, stati frequenti di rabbia, difficoltà a rispettare le regole del contesto e una tendenza a instaurare relazioni conflittuali sia con i coetanei sia con le figure educative (Berry, 2012). In questi casi l'alunno incontra difficoltà a organizzare le azioni, mantenere l'impegno su un compito, controllare il proprio
Brown (2013) individua le aree critiche tipiche dei profili con FE deficitarie:

- *consapevolezza*: incapacità di monitorare le proprie azioni e di valutarne l'efficacia e le conseguenze;
- *attivazione*: difficoltà ad auto-motivarsi e a iniziare un compito in modo tempestivo;
- *sforzo*: incapacità di modulare l'energia e la perseveranza necessarie per completare attività complesse;
- *regolazione emotiva*: risposte emotive eccessive, difficoltà nella gestione della frustrazione e frequenti stati di ansia, paura o delusione;
- *attenzione*: tendenza a distrarsi facilmente;
- *memoria di lavoro*: difficoltà a trattenere e manipolare le informazioni necessarie allo svolgimento dei compiti;
- *flessibilità cognitiva*: rigidità nell'affrontare situazioni nuove o nel modificare strategie in caso di imprevisti.

La relazione tra la presenza di BES e le fragilità nelle FE non è lineare né univoca: in alcuni casi, le difficoltà legate al controllo dell'interferenza, all'aggiornamento delle informazioni in memoria e alla flessibilità cognitiva costituiscono parte integrante delle compromissioni cognitive centrali; in altri si presentano in forma lieve, manifestandosi, ad esempio, in un'elaborazione rallentata delle informazioni o in una memoria di lavoro meno efficiente. Vi sono poi condizioni in cui disfunzioni di natura psicologica o funzionale, associate a disturbi di diversa eziologia, possono compromettere le FE di ordine superiore, generando difficoltà in ambiti come la rapidità di risposta o l'elaborazione delle informazioni (Astrea *et al.*, 2016).
In linea con quanto evidenziato da questi studi, numerose ricerche suggeriscono che un limitato sviluppo delle FE possa essere alla base di diversi disturbi, tra cui quelli della condotta, dell'attenzione (ADHD), della comunicazione, del linguaggio, della sindrome dello spettro autistico e dei Disturbi Specifici dell'Apprendimento (DSA), come la dislessia (Cottini, 2011; Ianes & Macchia, 2008; Moscovitch & Umiltà, 1990; Reiter *et al.*, 2005; Sobin *et al.*, 2010; Vicari & Di Vara, 2017). Tali condizioni possono interferire negativamente con il percorso scolastico, rendendolo meno lineare e più faticoso, a tratti persino frustrante.
La letteratura sull'esperienza scolastica evidenzia che abilità esecutive quali ritardare risposte impulsive, sospendere un'azione al momento opportuno, inibire comportamenti disfunzionali

e regolare le emozioni sostengono la partecipazione attiva anche in alunni con disabilità intellettive (Pellicano *et al.*, 2017; Zingerevich & La Vesser, 2008).

È noto che la regolazione emotiva coinvolga le stesse aree cerebrali – in particolare la corteccia prefrontale – deputate allo sviluppo delle FE. Secondo Gross & Thompson (2007), essa si basa su due processi fondamentali: il controllo dell'attenzione e la valutazione cognitiva dello stimolo emotivo, ossia l'interpretazione soggettiva attribuita all'evento scatenante. Allenarsi nella rivalutazione cognitiva può aiutare a prevenire l'attivazione di stati emotivi disfunzionali e a promuovere un maggior autocontrollo. Dato il valore predittivo delle FE rispetto al successo scolastico, è cruciale identificare precocemente le difficoltà e intervenire in modo preventivo per migliorare *performance*, qualità della vita e funzionamento nei diversi contesti (Diamond & Lee, 2011). In ambito scolastico incidono allo sviluppo dell'autocontrollo anche fattori di contesto: la qualità della relazione docente-alunno, l'ambiente di apprendimento le dinamiche di collaborazione tra pari e l'impostazione inclusiva delle attività didattiche (Orsolini, 2019). Sotto il profilo cognitivo, la capacità di mantenere l'attenzione focalizzata su un compito è essenziale per l'apprendimento. Tale abilità può essere sviluppata anche a scuola, attraverso l'impiego di mediatori visivi e iconici, utili a rafforzare e rendere più comprensibili le indicazioni verbali fornite dall'insegnante. Un docente che desidera incidere positivamente sullo sviluppo delle FE dovrebbe adottare un approccio riflessivo alla progettazione didattica: pianificando in anticipo le lezioni, rivedendo materiali e strategie operative, selezionando attività funzionali a facilitare l'elaborazione concettuale degli argomenti.
In quest'ottica, un'inclusione autentica considera le modalità di apprendimento, le potenzialità, le aspirazioni e le specificità di ciascun alunno, considerando non solo le differenze cognitive, ma anche quelle socio-culturali e legate alla condizione di salute (D'Alonzo *et al.*, 2015; Mura, 2016; Pavone, 2015; Sibilio, 2014). Alla luce delle sfide educative e dei bisogni diversificati degli studenti, diventa cruciale individuare strategie didattiche che integrino dimensioni cognitive, motivazionali e sociali: la RE si configura come una pratica particolarmente promettente, capace di attivare e sostenere le FE attraverso esperienze concrete e collaborative. Essa rappresenta, dunque, un ponte tra i bisogni educativi specifici e le potenzialità di ciascun alunno, favorendo processi di apprendimento realmente partecipati. Sul piano teorico-applicativo, il legame tra FE e BES è cruciale: nei BES, i profili esecutivi orientano la selezione di obiettivi e adattamenti che rendono accessibili i compiti e sostengono l'autoregolazione; la RE, a sua volta, offre un contesto autentico che sollecita in modo integrato memoria di lavoro, controllo inibitorio e flessibilità cognitiva, con *feedback* immediati e cooperazione tra pari. Da tale convergenza emerge il punto di intersezione tra FE, BES e RE: la profilazione esecutiva informa la personalizzazione per i BES e trova nella RE l'ambiente di attuazione privilegiato, in cui il potenziamento mirato delle FE si traduce in esiti documentabili su autoregolazione, partecipazione e apprendimento.

2.3 Potenziare le funzioni esecutive con la RE

La letteratura ha indagato diversi approcci per il potenziamento delle FE, sia in bambini con sviluppo tipico sia in alunni con BES. Tra questi, i *training* computerizzati hanno mostrato una

certa efficacia anche su studenti in età scolare (Aksayli *et al*., 2019). Di Lieto e colleghi (2020b) evidenziano come tali approcci condividano principi universalmente riconosciuti per la progettazione di interventi efficaci: l'inclusione di attività stimolanti e sfidanti (Diamond & Ling, 2016), una varietà di compiti (Wass *et al*., 2011), una pratica intensiva e ripetuta (Thorell *et al*., 2009), e il coinvolgimento di più dimensioni, incluse quelle socio-emotive (Diamond & Lee, 2011). In quest'ottica, le nuove tecnologie e in particolare la *robotica educativa* (RE) emergono come pratiche promettenti per lo sviluppo dei processi cognitivi nei contesti scolastici.
Alcuni studi suggeriscono che interventi focalizzati sul miglioramento delle FE possano contribuire a ridurre il divario tra status socio-economico e rendimento scolastico, grazie alla correlazione tra questi fattori e lo sviluppo delle FE (Last *et al*., 2018). Di conseguenza, Diamond e Ling (2020) sottolineano l'importanza di allenare tali funzioni in contesti di istruzione formale. Infatti, i programmi scolastici mirati allo sviluppo delle FE mostrano risultati positivi e coinvolgono un ampio spettro di studenti. Ciò rende possibile un'azione didattica su larga scala, in grado di favorire l'acquisizione di competenze fondamentali per il successo formativo.
L'uso dei robot educativi come strumenti per supportare l'apprendimento si è dimostrato efficace nelle diverse fasi della didattica, inclusa la valutazione. Resing e colleghi (2020) hanno indagato l'utilizzo del robot come assistente nella somministrazione di test dinamici computerizzati, evidenziandone il potenziale nel rilevare il potenziale di apprendimento e le strategie messe in atto dagli studenti nel *problem solving*. Analogamente, Corrie e colleghi (2019) mostrano come attività ludiche con i robot possano fornire informazioni utili sulle abilità di funzionamento esecutivo.
Sebbene molti studi si siano concentrati su preadolescenti e adolescenti, alcune ricerche (Bers *et al*., 2014; Yamamoto *et al*., 2006) dimostrano la validità della RE anche nella prima infanzia, promuovendo attenzione e atteggiamenti positivi verso l'apprendimento. Kazakoff e colleghi (2013) riportano miglioramenti significativi nelle abilità di sequenziamento e *problem solving* analitico nei bambini in età prescolare coinvolti in attività di RE.
Numerose ricerche hanno inoltre evidenziato l'efficacia della RE nel promuovere lo sviluppo di funzioni cognitive complesse come *problem solving*, astrazione, pianificazione e flessibilità cognitiva (Arfé *et al*., 2019; 2020; Çiftci & Bildiren, 2020; Di Lieto *et al*., 2020a; Görgen *et al*., 2020). La RE si è dimostrata capace di stimolare la metacognizione, il decision-making e la collaborazione (Drigas & Koukianakis, 2004, 2006; La Paglia *et al*., 2017).
Le attività di RE presentano caratteristiche comuni ai *training* per FE: difficoltà crescente, motivazione intrinseca e concretezza. Tali caratteristiche favoriscono il coinvolgimento attivo e la generalizzazione degli apprendimenti. Ciò consente una trasposizione didattica efficace di concetti astratti, come mostrano i risultati di studi che riportano miglioramenti nella memoria di lavoro visuo-spaziale e nel controllo inibitorio (Bargagna *et al*., 2019; Castro *et al*., 2019; Chaidi *et al*., 2021; Di Lieto *et al*., 2017; 2020a; Drakatos & Drigas, 2024; Montuori *et al*., 2023). In particolare, Drakatos & Christou (2023) e Betty (2023) evidenziano miglioramenti nell'attenzione visuo-spaziale, nel controllo inibitorio, nella regolazione emotiva e nell'autocontrollo. In linea con queste evidenze, lo studio sperimentale condotto da Liu e colleghi (2023) ha confermato l'efficacia della RE nel promuovere lo sviluppo delle FE nei bambini della scuola primaria. Attraverso un programma di sei settimane con il robot *Codey Rocky*, il gruppo

sperimentale ha mostrato miglioramenti significativi nella memoria di lavoro, nel controllo inibitorio, nella flessibilità cognitiva e nella pianificazione, rispetto al gruppo di controllo che ha seguito il normale curriculum scolastico. I risultati rafforzano l'idea che l'integrazione della RE nel curricolo possa favorire non solo l'apprendimento delle discipline STEM, ma anche lo sviluppo trasversale dei processi cognitivi coinvolti nell'autoregolazione e nell'apprendimento strategico.

Le FE, se considerate in chiave applicativa, mostrano interessanti connessioni con attività didattiche caratterizzate da dimensioni laboratoriali, cooperative e orientate al *problem solving*. La RE, in particolare, rappresenta un contesto privilegiato per l'attivazione di tali processi. Per rendere più chiara la connessione tra teoria e pratica, la tabella seguente (Tabella 2) illustra in modo operativo come ciascuna FE possa essere stimolata all'interno di percorsi di RE, collegando ogni processo cognitivo a esempi concreti di attività didattiche. In tale senso si propone una sintesi delle principali FE e delle modalità attraverso cui possono essere sollecitate all'interno di percorsi di RE.

Tabella 2. Connessioni tra funzioni esecutive e attività di RE

Funzione Esecutiva	Descrizione sintetica	Applicazioni in attività di RE
Memoria di lavoro	Capacità di mantenere e manipolare informazioni per brevi periodi, necessaria per il ragionamento e l'apprendimento.	Programmare sequenze di comandi sul robot e ricordare istruzioni precedenti per modificarle o integrarle.
Controllo inibitorio	Controllo di impulsi e risposte automatiche, essenziale per la regolazione del comportamento.	Attendere il proprio turno durante attività collaborative, verificare gli errori nel codice senza procedere in modo impulsivo.
Flessibilità cognitiva	Abilità di modificare strategie o punti di vista di fronte a nuove informazioni o situazioni.	Correggere un programma che non funziona, esplorare soluzioni alternative e adattarsi a diverse modalità di programmazione (blocchi, linguaggio testuale).
Pianificazione	Capacità di definire obiettivi e organizzare azioni per raggiungerli in modo sequenziale ed efficace.	Progettare un percorso per il robot, suddividere compiti in sotto-fasi e distribuirli tra i membri del gruppo.
Monitoraggio	Controllo e valutazione del proprio comportamento e delle azioni in corso rispetto agli obiettivi prefissati.	Testare i programmi eseguiti dal robot, riconoscere errori e apportare correzioni iterative (debugging).
Regolazione emotiva	Gestione delle emozioni per mantenere la concentrazione e affrontare frustrazioni o difficoltà.	Mantenere la calma di fronte a errori di programmazione, collaborare costruttivamente con i compagni durante le sfide.

Come emerge chiaramente, le attività di progettazione, programmazione e sperimentazione con i robot non attivano solo singole FE, ma creano un contesto integrato in cui memoria di lavoro, controllo inibitorio, flessibilità e autoregolazione interagiscono continuamente. Le pratiche di *debugging*, test iterativi e revisione delle strategie sono, di fatto, esercizi strutturati di metacognizione applicata: attivano le FE (inibizione degli impulsi, mantenimento in memoria dei vincoli, flessibilità nel cambiare soluzione) e, quando progettate per generare piccoli successi progressivi, accrescono l'autoefficacia nell'autoregolazione dell'apprendimento, che a sua volta predice esiti scolastici migliori. Ciò rende la RE un contesto privilegiato per osservare e potenziare tali processi. Come si può notare, ogni FE trova una corrispondenza diretta in attività tipiche di RE, rendendo evidente il potenziale trasversale di questa pratica. La sintesi

proposta evidenzia come le diverse componenti delle FE non vadano intese come abilità isolate, ma come processi strettamente interconnessi che trovano nella RE un terreno privilegiato di attivazione. Le attività di costruzione, programmazione e sperimentazione con i robot sollecitano simultaneamente memoria di lavoro, controllo inibitorio e flessibilità cognitiva, integrando aspetti cognitivi, emotivi e motivazionali. Ad esempio, la necessità di pianificare sequenze di comandi o di anticipare possibili errori stimola la capacità di mantenere e manipolare informazioni rilevanti in memoria di lavoro; il confronto tra ipotesi e risultati attesi esercita i processi di controllo inibitorio e autoregolazione; la revisione dei programmi o l'adattamento del robot a compiti diversi favoriscono lo sviluppo della flessibilità cognitiva. Allo stesso tempo, il lavoro in piccoli gruppi e le dinamiche collaborative arricchiscono la dimensione interpersonale, creando contesti in cui la gestione delle FE si intreccia con abilità sociali e relazionali. In questa prospettiva, la RE non rappresenta soltanto uno strumento tecnologico, ma un vero e proprio dispositivo didattico in grado di potenziare abilità cognitive complesse attraverso esperienze concrete, motivanti e condivise. Il collegamento tra FE e RE offre quindi un quadro teorico solido per comprendere come pratiche didattiche basate sull'uso dei robot possano tradursi in un arricchimento significativo degli apprendimenti scolastici.

In questa prospettiva, le evidenze riportate nelle ricerche successive (La Paglia *et al.*, 2018; Di Lieto *et al.*, 2020a) si inseriscono come ulteriori conferme empiriche del legame tra RE e potenziamento delle FE. Tali contributi, infatti, mostrano come l'uso dei robot educativi possa tradursi in miglioramenti misurabili nelle abilità di pianificazione, *problem solving* e autoregolazione, consolidando l'idea che la RE possa costituire realmente un dispositivo didattico capace di incidere sia sugli apprendimenti disciplinari sia sui processi cognitivi trasversali. Il contributo di La Paglia e colleghi (2018) conferma, infatti, l'incremento significativo della pianificazione e delle abilità di *problem solving* valutate con la Torre di Londra. Di Lieto e colleghi (2020a), con uno studio RCT, dimostrano l'efficacia della RE anche per alunni con BES. In tale popolazione, la RE è stata utilizzata con successo per potenziare funzioni cognitive in casi di difficoltà di apprendimento, disabilità intellettiva e ADHD (Conchinha *et al.*, 2016; Bargagna *et al.*, 2019; Drakatos & Drigas, 2024; Fridin & Yaakobi, 2011). Studi specifici hanno inoltre evidenziato miglioramenti nella flessibilità cognitiva nei bambini con autismo (Costescu *et al.*, 2015; Perez-Vazquez *et al.*, 2022).

Nel contesto del Canton Ticino[8], studi recenti (Marras *et al.*, 2023; Marras *et al.*, 2024a) mostrano, tramite il test gamificato CRAB (Menestrina *et al.*, 2021), miglioramenti nel controllo

[8] Nel Canton Ticino l'assetto scolastico si è evoluto da un modello inizialmente separativo verso forme integrative e inclusive. Dopo una fase in cui gli alunni con BES erano istruiti in strutture dedicate, il Regolamento per l'educazione speciale del 9 luglio 1975 introdusse sezioni di scuola speciale all'interno dei centri scolastici ordinari e, in seguito, servizi interni come il sostegno pedagogico e figure specialistiche. Con la Legge sulla pedagogia speciale (2011) è stato normato il diritto all'educazione speciale privilegiando l'integrazione nella scuola regolare, attraverso misure di base e supplementari: dal sostegno pedagogico (prevenzione e contenimento del disadattamento) agli educatori per l'accompagnamento socio-educativo, fino agli Operatori per l'Integrazione (OPI) per situazioni di marcato disagio. All'interno della scuola regolare (di gestione comunale) trovano posto le Unità Scolastiche Differenziate (USD), ambiti specifici che accolgono allievi con importante disadattamento scolastico (es. problematiche comportamentali e di autoregolazione). In parallelo sono state avviate sezioni e classi inclusive con co-presenza e corresponsabilità tra docente di classe regolare e docente di classe speciale (cantonale). Permangono, infine, scuole speciali extra-regolari (classi a effettivo ridotto e istituti per minorenni con

attentivo, nella memoria visuo-spaziale e nella regolazione cognitiva. Tali risultati sono stati osservati anche in classi delle Unità Scolastiche Differenziate (USD), contribuendo all'obiettivo di una scuola inclusiva. La RE si configura pertanto come pratica efficace per lo sviluppo delle FE, già a partire dalla scuola dell'infanzia (Di Lieto *et al.*, 2020a; Diamond & Ling, 2016).
Infine, la RE si distingue anche per la capacità di fornire feedback immediati, facilitando l'autocontrollo e la riflessione metacognitiva (Demertzi *et al.*, 2018; Di Lieto *et al.*, 2020b). Questa caratteristica rende la RE uno strumento privilegiato rispetto ad altri approcci digitali, perché unisce il contatto diretto con l'artefatto fisico al potenziamento cognitivo. La dimensione tangibile e condivisa dello spazio d'azione potenzia ulteriormente le FE rispetto agli ambienti esclusivamente virtuali (Sun & Zhou, 2023; Marzocchi *et al.*, 2020). Le attività di programmazione e osservazione del comportamento robotico favoriscono pianificazione, organizzazione e monitoraggio, tutte componenti fondamentali per il funzionamento esecutivo (Arfé *et al.*, 2019; Montuori *et al.*, 2023). Queste evidenze confermano la necessità di ulteriori studi per comprendere i meccanismi cognitivi specifici attivati dalla RE e supportano l'adozione di pratiche didattiche inclusive e differenziate, in cui la RE possa rappresentare uno strumento centrale per il potenziamento delle FE. In sintesi, le FE si confermano processi fondamentali per l'apprendimento e la partecipazione scolastica. La letteratura evidenzia come la RE, grazie alla sua dimensione laboratoriale, collaborativa e motivante, rappresenti un contesto particolarmente favorevole per lo sviluppo e l'allenamento di tali funzioni. Questo quadro apre la strada ai capitoli successivi, nei quali verranno esplorati sia i fondamenti teorici dell'integrazione della RE a scuola sia le evidenze empiriche raccolte attraverso ricerche condotte in contesti reali.

bisogni terapeutici e /o assistenziali), con ordinamenti non uniformi. Per un quadro approfondito si rimanda a Mainardi (2022; 2023).

Capitolo 3

Robotica a scuola: opportunità e criticità

Si è detto che l'applicazione concreta della *robotica educativa* (RE) in ambito scolastico porti innumerevoli vantaggi. È necessario però metterne in luce prima le criticità. L'inserimento sistematico della RE nei percorsi didattici, infatti, non presenta solo opportunità rilevanti, ma anche ostacoli di natura strutturale, metodologica e culturale che ne rallentano la piena integrazione nei diversi gradi del sistema educativo.
Per compiere un'analisi esaustiva dell'implementazione della robotica in ambito scolastico, occorre operare una valutazione bilanciata che tenga conto, da un lato, dei benefici in termini di potenziamento dell'apprendimento, di sviluppo delle competenze trasversali e dell'inclusione; dall'altro, delle difficoltà operative, delle barriere sistemiche e dei limiti ancora presenti a livello tecnico, didattico e infrastrutturale.
Pei e Nie (2018) hanno identificato quattro principali aree critiche che ostacolano la diffusione capillare e sostenibile degli artefatti robotici nell'istruzione:

1. *Disparità di genere*: le attività di RE tendono spesso a essere strutturate secondo modalità operative che privilegiano competenze tecnico-manuali, storicamente e culturalmente più associate agli studenti che alle studentesse. Ciò può tradursi in una minore partecipazione e motivazione da parte di queste ultime, contribuendo a perpetuare stereotipi di genere e alimentando un divario nell'accesso alle competenze digitali.
2. *Resistenza e incompetenza del corpo docente*: l'introduzione della RE in classe richiede un ampliamento sostanziale del concetto di insegnamento e una trasformazione della figura del docente, che deve acquisire nuove competenze e sviluppare nuove visioni didattico-pedagogiche. Tuttavia, molti insegnanti non si sentono adeguatamente formati o supportati nell'uso di queste tecnologie. Ciò richiede un ripensamento da parte delle politiche educative di percorsi mirati di aggiornamento professionale.
3. *Limitazioni tecniche*: nonostante l'evoluzione tecnologica, i robot attualmente disponibili per l'ambito scolastico non sono sempre in grado di rispondere in modo efficace a situazioni di apprendimento complesse o differenziate. La gestione dell'interazione didattica richiede, infatti, un livello di adattabilità e reattività che molti dispositivi non riescono ancora a garantire in maniera fluida e coerente.
4. *Scarsa disponibilità di risorse e standardizzazione*: la varietà di dispositivi, linguaggi di programmazione, *software* e contenuti rende difficile l'adozione di un approccio unificato e condiviso. La mancanza di uno *standard* educativo riconosciuto e di risorse

sufficienti – sia materiali che finanziarie – rappresenta un ostacolo significativo alla diffusione omogenea della RE nei diversi contesti scolastici.

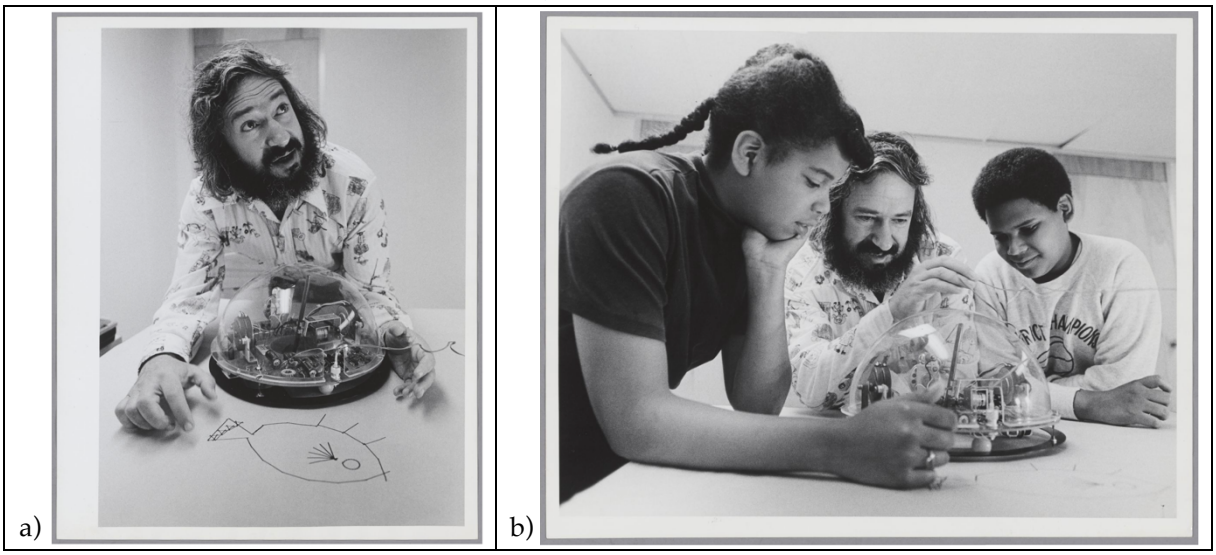
Nonostante tali criticità, la RE rappresenta una delle tecnologie con il più alto potenziale nel panorama della didattica attuale. Essa può essere integrata nei curricoli scolastici con modalità flessibili e adattabili, promuovendo un approccio trasversale all'apprendimento che attraversa i diversi ordini e gradi di istruzione. La RE si configura, inoltre, come una pratica capace di superare le barriere tradizionali tra istruzione formale, non formale e informale, così come tra percorsi teorici e tecnico-pratici, favorendo una visione più dinamica dell'esperienza formativa. Le numerose possibilità di impiego della robotica nelle pratiche educative dipendono direttamente dalle competenze che gli studenti possono sviluppare attraverso il suo utilizzo. Si tratta di competenze che spaziano dalla logica computazionale al *problem solving*, dalla collaborazione alla creatività, dall'autonomia decisionale alla consapevolezza critica delle tecnologie. I robot educativi, essendo prodotti tecnologici complessi, necessitano di essere oggetto di studio, sperimentazione e valutazione sistematica all'interno dei contesti scolastici. Solo attraverso un'analisi pedagogica attenta e un confronto interdisciplinare sarà possibile comprenderne il valore formativo e progettare il loro impiego in maniera coerente con le finalità educative. L'inserimento della RE nella programmazione didattica, in ottica transdisciplinare, non può dunque prescindere da una riflessione critica sui suoi presupposti teorici, sulle metodologie applicative e sulle condizioni necessarie per garantirne l'efficacia.

3.1 Robotica educativa in ambito scolastico

In questo clima dinamico e in continua evoluzione, segnato da significativi sviluppi tecnologici, sorgono inevitabilmente interrogativi riguardo alle finalità educative che sottendono l'introduzione della robotica nei contesti scolastici. Quali visioni pedagogiche orientano la scelta di adottare artefatti robotici come strumenti per la costruzione della conoscenza? In che modo questi strumenti possono favorire l'acquisizione di competenze cognitive complesse quali, per esempio, il pensiero critico e il *problem solving*? Tali abilità costituiscono, infatti, la "cassetta degli attrezzi" necessaria per trasformare informazioni isolate in reti di senso significative, spendibili in prospettive interdisciplinari e generalizzabili in contesti diversi.
Alla luce di queste premesse, i paragrafi successivi saranno dedicati all'analisi della RE in ambito scolastico con particolare riferimento al quadro concettuale che ne orienta l'integrazione. Verranno presi in esame i modelli educativi di riferimento, le principali teorie pedagogiche e le strategie didattiche che supportano la progettazione di esperienze di RE, con attenzione sia al contesto nazionale che a quello internazionale. Si proporrà un approfondimento sui robot educativi, con l'analisi delle componenti *hardware* e *software* e del *"brainware"* – la capacità dei sistemi di sostenere l'organizzazione, la socializzazione e lo sviluppo di competenze – oltre a una riflessione sulle principali tassonomie riportate in letteratura. Particolare rilievo sarà dato alle due declinazioni centrali della RE per questo volume: l'uso didattico-scolastico e quello inclusivo. Si tralasceranno, invece, gli aspetti legati alla sola educazione *alla* robotica e alla robotica sociale.

Il mondo della scuola, come abbiamo visto, sta dimostrando un interesse crescente nei confronti delle potenzialità offerte dalla RE. Il quadro teorico che ha ispirato l'introduzione dei robot in ambito educativo affonda le sue radici nel *costruzionismo* di Seymour Papert (1980), sviluppato a partire dalle teorie costruttiviste di Jean Piaget, con il quale lo stesso Papert collaborò durante un periodo di studio a Ginevra. Papert ampliò l'orizzonte epistemologico piagetiano, focalizzandosi sull'*arte del fare* nell'apprendimento, promuovendo un approccio basato sul *learning by doing* (Dewey, 1938; Moro *et al.*, 2011), preceduto dal *learning by thinking*, e attribuendo un ruolo centrale agli strumenti, ai media e al contesto nello sviluppo cognitivo e umano (Ackermann, 2001). Secondo lo studioso, l'apprendimento è un processo attivo e costruttivo: la conoscenza si sviluppa attraverso attività concrete, mediate da oggetti tangibili e condivisibili (Ackermann, 2001; Papert, 1993; Stager, 2005), inclusi strumenti tecnologici come il computer. L'uso del personal computer, infatti, è visto non solo come un supporto, ma come un potente catalizzatore della costruzione della conoscenza, in grado di rendere i processi di apprendimento più flessibili e personalizzati (Bers *et al.*, 2014; Resnick, 2012). L'intuizione di Papert è radicata nella sua stessa esperienza scolastica: da ragazzo aveva compreso come la manipolazione di ingranaggi meccanici gli consentisse di astrarre concetti matematici attraverso modelli mentali efficaci. Tale intuizione ha ispirato il suo impegno futuro nel campo educativo, che si è concretizzato, una volta approdato al *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), nella creazione di un linguaggio di programmazione semplice ma potente, accessibile anche ai bambini della scuola primaria: il linguaggio *LOGO* (Papert, 1983). *LOGO* rappresentava un'innovazione significativa: progettato inizialmente per l'utilizzo con il computer, condivideva già molte affinità con i moderni ambienti di programmazione. Attraverso questo linguaggio, gli studenti potevano programmare una tartaruga virtuale, impartendole comandi per muoversi nello spazio dello schermo. Da questa base teorico-pratica nacque il primo robot educativo progettato proprio da Papert, *Turtle*, grazie al quale gli alunni potevano esplorare concretamente concetti spaziali e temporali, traducendo il pensiero in azione programmata (Figura 5).

Figura 5. (a) Seymour Papert con il robot *Turtle*; (b) Papert con studenti in attività mediate da *Turtle*. (*Fonte: https://mitmuseum.mit.edu*)



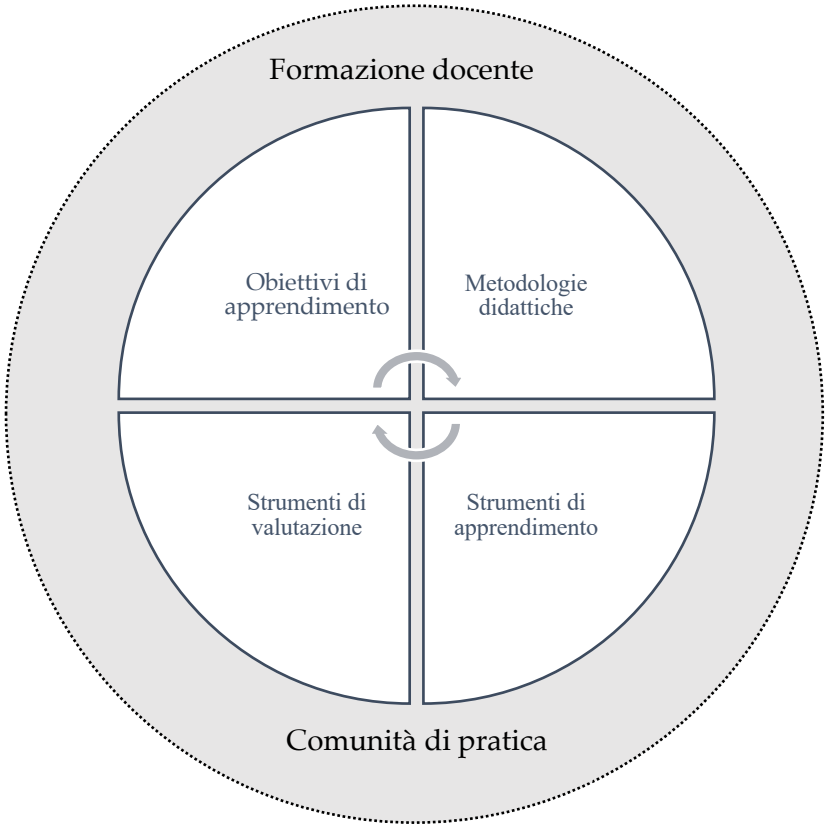
Attraverso la programmazione, la manipolazione e la costruzione, gli studenti erano messi nella condizione di esplorare concetti complessi, costruire modelli mentali, ideare progetti significativi (Bers *et al.*, 2002). Tuttavia, queste proposte, negli ultimi due decenni del Novecento, furono spesso percepite come premature e non accolsero un consenso diffuso, scontrandosi con la preferenza verso *software* didattici più strutturati, come gli ipertesti, che riscuotevano maggiore successo nel contesto scolastico dell'epoca.
A partire da tali premesse, si considera Papert come il precursore della RE, le cui idee – inizialmente sottovalutate – si sono rivelate perfettamente in linea con le traiettorie dello sviluppo scientifico, tecnologico e culturale del XXI secolo. Si potrebbe definire un visionario della scuola del futuro, capace di anticipare la necessità di una riorganizzazione profonda dei saperi: una ristrutturazione che riguarda non solo i contenuti, ma anche i processi cognitivi e gli strumenti didattici che li veicolano. Papert auspicava che i robot potessero essere riconosciuti dai docenti come «oggetti con cui pensare» (Caci *et al.*, 2007; Harel & Papert, 1991), attribuendo loro un valore affettivo e cognitivo per gli studenti. In alcuni casi, tali artefatti possono assumere anche una funzione simbolica, simile a quella dell'*oggetto transizionale* teorizzato da Winnicott (1971), grazie alla loro capacità di suscitare un legame affettivo e di sostenere i processi di apprendimento.
Le riflessioni fin qui esposte confermano la solidità e l'attualità dei paradigmi epistemologici del costruttivismo e del costruzionismo, i quali concepiscono la conoscenza come un processo individuale e/o condiviso di costruzione attiva del sapere. Tali approcci risultano particolarmente efficaci se applicati all'insegnamento della RE (Alimisis & Kynigos, 2009; Tocháček *et al.*, 2016; Vaňková & Lapeš, 2013). Tuttavia, il riferimento alle teorie pedagogiche, pur fondamentale, non può considerarsi sufficiente per comprendere appieno le dinamiche della RE nella scuola. È necessario indagare il quadro concettuale in grado di sostenere l'integrazione della pratica a scuola, quali modelli didattici effettivamente ne favoriscano l'implementazione e quali metodologie ne abbiano guidato l'applicazione concreta nei contesti scolastici. I paragrafi seguenti tenteranno di tracciare un filo conduttore tra teoria e prassi, individuando gli elementi chiave che rendono l'integrazione della RE a scuola sostenibile e trasformativa, ovvero capace di sostenere un cambiamento nella didattica.

3.2 Un quadro per integrare la robotica educativa

L'integrazione della RE nel contesto scolastico richiede un inquadramento teorico e operativo che sappia tenere insieme l'evoluzione della ricerca, i riferimenti alla teoria costruzionista e le esigenze concrete degli insegnanti. Il pensiero di Papert ha aperto la strada a un uso della tecnologia orientato alla costruzione attiva della conoscenza, dove il robot non rappresenta un fine, ma un mezzo *con cui pensare* (Harel & Papert, 1991), un artefatto capace di stimolare curiosità, riflessione, creatività e apprendimento (Ackermann, 2001; Resnick, 2012). Tuttavia, affinché tali potenzialità possano tradursi in pratiche didattiche efficaci e sostenibili, è necessario disporre di un quadro concettuale che offra agli insegnanti strumenti di orientamento concreti per progettare, implementare e valutare attività di RE allineate con gli obiettivi formativi. La sfida è costruire una cornice integrata che consideri la complessità delle dimensioni in gioco,

superando approcci frammentari e disorganici (Wu *et al.*, 2015). In questo senso, il modello ERIM (*Educational Robotics Integration Model*) (Negrini *et al.*, 2025a) si configura come una proposta teoricamente solida e al tempo stesso operativamente utile per l'integrazione della RE nella scuola (Figura 6). Per rispondere a queste esigenze, l'ERIM propone cinque dimensioni fondamentali: (1) obiettivi di apprendimento, (2) metodi didattici, (3) strumenti di valutazione, (4) artefatti di apprendimento, (5) formazione e comunità degli insegnanti. La quinta dimensione attraversa e sostiene tutte le altre, sottolineando il ruolo strategico della professionalità docente e della creazione di comunità di pratica nella diffusione della RE (Papadakis *et al.*, 2021). Le aree riconducibili alle cinque dimensioni verranno dapprima presentate sinteticamente, per poi essere approfondite singolarmente. Lo stato dell'arte relativo alla prima dimensione – quella degli obiettivi di apprendimento e delle potenzialità della RE in questo ambito – è già stato ampiamente discusso nel primo capitolo. Nel presente capitolo si offrirà una panoramica più estesa delle restanti quattro dimensioni.

Figura 6. ERIM: un modello integrato per l'allineamento delle attività di RE a scuola (Negrini *et al.*, 2025a)



Obiettivi di apprendimento. La prima dimensione riguarda la definizione degli obiettivi di apprendimento. La RE può essere impiegata per sviluppare competenze disciplinari, trasversali e metacognitive. A livello disciplinare, essa consente di introdurre o rafforzare concetti matematici (Mitnik *et al.*, 2008; Grimaldi, 2015) come, ad esempio, angoli, proporzioni, coordinate, linguistici (Chang *et al.*, 2010) ovvero l'ampliamento del vocabolario, la narrazione, scientifici, tra cui i concetti di forza, energia, ciclo biologico, e geografici (Julia & Antolí, 2016). In ambito trasversale, la RE favorisce lo sviluppo di abilità come la cooperazione (Gueorguiev *et al.*, 2018;

Hong *et al*., 2011; Nourbakhsh *et al*., 2005; Sun & Zhou, 2023), la comunicazione efficace (Nelson, 2012), il pensiero critico, la creatività (Wong & Cheung, 2020; Yang *et al.*, 2020; Zhong & Li, 2020), la gestione del tempo e il *problem solving* (Bai & Tian, 2025; Gratani *et al.*, 2021; Montuori *et al*., 2024). Sul piano metacognitivo, la RE permette agli studenti di riflettere sui propri processi di apprendimento, potenziando l'autoefficacia e la capacità di autoregolazione. Inoltre, la RE rappresenta un terreno privilegiato per lo sviluppo del pensiero computazionale (Wing, 2008; Atmatzidou & Demetriadis, 2016; Ching & Hsu, 2024; Wang & Xie, 2024), ormai considerato una competenza chiave nel curriculum del XXI secolo.

Metodologie didattiche. La seconda dimensione concerne i metodi didattici. L'approccio costruzionista suggerisce che l'apprendimento più efficace avviene quando gli studenti costruiscono attivamente un artefatto significativo per loro (Papert, 1980; Moro *et al.*, 2011). Pertanto, le attività di RE devono evitare l'approccio trasmissivo e privilegiare metodologie attive, partecipative e incentrate sullo studente. Il *Project-Based Learning*, ad esempio, consente agli studenti di lavorare su progetti autentici, spesso interdisciplinari, che culminano in un prodotto concreto (Kilpatrick, 1918; Negrini, 2019). Il *Problem-Based Learning* stimola invece l'indagine, la ricerca e la costruzione autonoma della conoscenza a partire da uno scenario problematico (Jonassen, 2004). Entrambe le metodologie possono essere combinate con approcci laboratoriali, *flipped classroom* (Paaskesen, 2020) o architetture di tipo collaborativo o esplorativo (Bonaiuti, 2014). Una buona progettazione richiede anche di bilanciare struttura e autonomia, offrendo *scaffolding* iniziale ma lasciando spazio alla scoperta e alla sperimentazione. In tal senso, al di là della strategia didattica implementata, anche le modalità di lavoro necessitano di essere rese esplicite: i docenti devono essere consapevoli del loro agire didattico in modo da orientare in maniera chiara e consapevole gli interventi. In questa prospettiva, l'*Universal Design For Learning* (UDL) rappresenta un'opportunità metodologica per la progettazione di attività di RE. Esso valorizza la diversità degli studenti promuovendo la molteplicità dei mezzi di rappresentazione, espressione e coinvolgimento (CAST, 2024), rendendo le esperienze di RE accessibili per tutti. Allo stesso tempo, ispirarsi ai tre momenti degli Episodi di Apprendimento Situato (EAS) (Rivoltella, 2013), organizzando l'esperienza didattica in tre fasi – anticipazione, cuore dell'attività e rielaborazione – favorisce il pensiero riflessivo, la metacognizione e la costruzione condivisa della conoscenza.

Strumenti di valutazione. La terza dimensione riguarda gli strumenti di valutazione. Le attività di RE implicano una pluralità di obiettivi e quindi richiedono una valutazione multimodale. Gli insegnanti dovrebbero utilizzare sia strumenti quantitativi (test, scale, rubriche) sia qualitativi (osservazioni, interviste, portfolio). È importante distinguere tra valutazione formativa, che accompagna il processo e fornisce *feedback* continui, e valutazione sommativa, che misura i risultati finali. Tra gli strumenti standardizzati per gli studenti, il *Robotics Learning Self-Efficacy Scale* (RLSES) (Tsai *et al.*, 2021; Agus *et al.*, 2025) consente di valutare l'autoefficacia percepita degli studenti. Diversi strumenti sono stati validati inoltre (non in lingua italiana) per la misurazione delle competenze computazionali, fortemente implicate nelle attività di RE. Tra questi possiamo menzionare il CT Test (Román-González, 2015), il CT Test *for Beginners* (Zapata-Cáceres *et al.*, 2020) e il CTLS (Korkmaz *et al.*, 2015). Tuttavia, la valutazione delle RE

dovrebbe includere anche strumenti qualitativi come rubriche, portfolio e osservazioni sistematiche (Bers, 2021; Kakavas & Ugolini, 2019). L'uso di rubriche consente, infatti, di valutare aspetti complessi e trasversali come la collaborazione, la creatività, l'ingegnosità nelle soluzioni o la qualità del pensiero algoritmico. L'e-portfolio digitale così come il diario di bordo, infine, si rivelano utili per documentare l'intero percorso, rendendo visibile l'intero processo di apprendimento.

Strumenti di apprendimento. La quarta dimensione riguarda gli artefatti di apprendimento. Giang e colleghi (2019, 2022) definiscono un sistema di RE come composto da tre elementi: robot, interfaccia e *playground*. La scelta di ciascuna di queste componenti deve tener conto dell'età degli studenti, degli obiettivi di apprendimento e del contesto in cui si va a operare. I robot, ad esempio, possono essere compatti o da assemblare, e possono offrire livelli diversi di complessità. Le interfacce di programmazione allo stesso modo possono essere fisiche (*tangible*) (Papavlasopoulou *et al*., 2017), visuali (*block-based*) o addirittura testuali (es. *Python*), e la loro scelta influisce sull'accessibilità e sull'*engagement*. Il *playground* deve essere uno spazio pensato per l'interazione significativa, in grado di supportare scenari di gioco, sfide, missioni. In sostanza rappresenta il contesto esperienziale in cui il problema è situato (Chevalier *et al.*, 2020), e può essere modellato per aumentare il coinvolgimento e la significatività dell'apprendimento. In tal senso, anche la scelta dell'interfaccia influisce sull'accessibilità e sull'esperienza d'uso (Negrini *et al.*, 2024). Giang e colleghi (2022) ritengono che ogni artefatto svolge una specifica funzione cognitiva, e il bilanciamento di tutti gli elementi determina la qualità dell'esperienza. La progettazione deve, quindi, tener conto delle *affordance* di ciascun elemento e della loro integrazione sistemica.

Formazione e comunità degli insegnanti. La quinta dimensione – la formazione e la comunità degli insegnanti – rappresenta la condizione abilitante per l'intero modello (Reyes Mury *et al.*, 2022). I docenti vanno accompagnati in percorsi di sviluppo professionale continui, situati e collaborativi. Le evidenze dimostrano che brevi corsi teorici non sono sufficienti per promuovere un uso efficace della RE (Guskey, 2002; Duncan-Howell, 2010): servono esperienze pratiche, mentoring, comunità di pratica e accesso a risorse condivise. Iniziative come i CAS in *Educational Robotics* (Negrini, 2019), il *Robotic Camp* (Negrini *et al.*, 2025b) o le comunità *Roteco* forniscono esempi concreti di supporto strutturato, sostenibile e replicabile nella formazione. L'insegnante, infatti, non può essere lasciato solo ad affrontare la complessità della RE: la creazione di reti di supporto, la condivisione di materiali, l'accesso a modelli validati sono fattori determinanti per l'adozione su larga scala. La formazione non deve limitarsi a trasmettere competenze tecniche, ma sostenere una trasformazione della professionalità docente, capace di integrare nuove visioni dell'insegnamento e dell'apprendimento. In sintesi, il modello ERIM propone un approccio sistemico e coerente all'integrazione della RE, offrendo agli insegnanti una bussola concettuale per orientarsi tra finalità educative, scelte didattiche, strumenti e valutazione. Solo attraverso una progettazione consapevole, un utilizzo mirato degli strumenti e un sostegno continuo alla professionalità docente sarà possibile rendere la RE un'effettiva leva di innovazione a scuola.

3.2.1 Modelli e metodologie per sostenere la RE

L'ambito della RE come abbiamo visto non si limita all'applicazione delle tecnologie e degli artefatti robotici nei contesti formativi, ma comprende anche una riflessione più ampia che, come emerge dal quadro concettuale presentato precedentemente, è di natura metodologica, organizzativa, procedurale e progettuale. Rientrano in questo campo le pratiche di trasposizione didattica, l'analisi delle fasi dei processi di apprendimento, e lo studio dell'impiego della RE in relazione a specifici ambiti disciplinari e alle molteplici competenze richieste dalla società del XXI secolo.

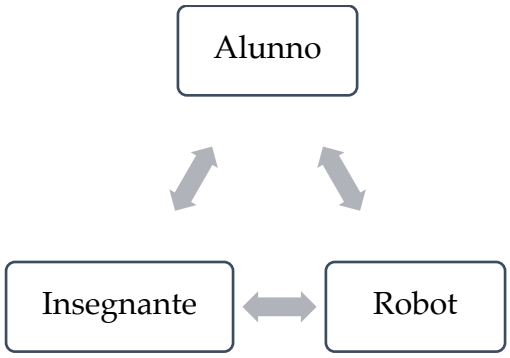
L'analisi del tema della RE mette in luce l'assenza di una teoria didattica strutturata che riconosca esplicitamente i robot come *agenti educativi* (Lehmann & Rossi, 2019), ovvero come mediatori effettivi nei processi di apprendimento. Una tale teoria dovrebbe esaminare, da una prospettiva pedagogica, le trasformazioni nel ruolo del docente e le implicazioni che ne derivano nella strutturazione della conoscenza. Attualmente, i robot educativi sono spesso concepiti come strumenti a supporto dell'apprendimento e vengono comunemente integrati all'interno della pedagogia dell'approccio *maker* (Martinez & Stager, 2019), che include ambienti come i *makerspace*, i *fab lab* e gli atelier creativi, caratterizzati da flessibilità, apertura e vocazione artigianale digitale.

A partire da queste premesse, la ricerca ritiene essenziale approfondire lo studio delle esperienze realizzate in tali ambienti, al fine di valutarne l'efficacia pedagogica e la sostenibilità didattica. Affinché la robotica acquisisca significato all'interno del contesto educativo formale, è fondamentale che essa venga valorizzata sulla base di evidenze empiriche e trovi una collocazione chiara all'interno del curricolo scolastico. Le esperienze didattiche virtuose basate sulla RE dovrebbero, inoltre, essere replicabili e adattabili a differenti contesti educativi, per garantirne la trasferibilità e consentirne l'analisi in una prospettiva comparativa e multidimensionale.

Tale processo ciclico di sperimentazione e revisione rappresenta una traiettoria promettente per formatori e ricercatori, che mira alla costruzione di nuove forme di sapere sostenute da solidi modelli pedagogico-didattici. In quest'ottica, l'obiettivo è quello di integrare in modo sistematico la RE nei curricoli scolastici, rendendola parte integrante delle pratiche didattiche quotidiane. Tuttavia, diversi autori (Alimisis & Moro, 2016; Chevalier *et al.*, 2016) hanno evidenziato le criticità ancora presenti nell'integrazione formale della RE, anche all'interno di laboratori innovativi orientati all'attivazione di competenze trasversali e interdisciplinari, come osservato anche da Eguchi (2014b).

In un tentativo di definire un quadro teorico di riferimento utile alla comprensione e alla promozione di un utilizzo efficace della robotica in ambito scolastico, Catlin e Blamires (2010) hanno proposto i *Dieci Principi Pedagogici per le Applicazioni di RE*. Tali principi mirano a chiarire e motivare le modalità attraverso cui i robot possono sostenere i processi di apprendimento, a delineare i benefici derivanti dalla loro integrazione nella didattica, e a descrivere le dinamiche relazionali e le interazioni bidirezionali che si instaurano tra insegnante, studente e robot (Figura 7).

Figura 7. Rapporto di triangolazione insegnante, studente, robot (Catlin & Blamires, 2010)



I principi sopra elencati costituiscono un insieme olistico e interconnesso di valori pedagogici, capaci di integrarsi reciprocamente attraverso diverse possibili convergenze e combinazioni applicative. Per facilitarne la lettura e l'interpretazione, essi sono stati organizzati in tre macro-categorie, come sintetizzato in Tabella 3.

Tabella 3. Macro-categorie e principi (Catlin & Blamires, 2010)

Tecnologia	Studente	Insegnante
1. Intelligenza 2. Interazione 3. Incarnazione (*Embodiment*)	4. Impegno/Coinvolgimento 5. Apprendimento sostenibile 6. Personalizzazione	7. Pedagogia 8. Curriculum e valutazione 9. Equità 10. Pratica

Nel quadro teorico della *tecnologia* come categoria interpretativa, i robot educativi possono esibire comportamenti intelligenti che li rendono capaci di partecipare attivamente alle attività didattiche e alle esperienze di apprendimento, attraverso interazioni multimodali mediate da una varietà di sistemi semiotici. Tali interazioni diventano significative per gli studenti soprattutto quando avvengono in uno spazio e in un tempo condivisi, dando luogo a processi di apprendimento intenzionali e situati.
Esplorare il concetto di *embodiment* – con particolare attenzione alla "sintassi corporea" proposta da Papert (1980) – può aprire a nuove prospettive interpretative sull'impiego educativo dei robot. Uno studio condotto da Berthelot e Salin (1994) ha mostrato, ad esempio, come la mancanza di esperienze nel meso e macro-spazio limiti la capacità degli alunni della scuola primaria di orientarsi efficacemente nel microspazio, compromettendo così la comprensione di concetti spaziali in ambienti virtuali. Nelle attività di robotica virtuale, gli studenti spesso si trovano confusi: ad esempio, per far "tornare indietro" un oggetto devono spostarlo verso il basso, un'operazione che entra in conflitto con le coordinate spaziali interiorizzate nel mondo reale. Il fulcro dell'idea *sintonica* di Papert consiste proprio nell'identificazione dello studente con il robot: nel giocare con la tartaruga, l'alunno assume il punto di vista dell'agente robotico, vivendo l'esperienza da dentro, percependo e agendo come se fosse esso stesso a muoversi nello spazio. Questa identificazione favorisce il coinvolgimento affettivo e cognitivo, stimola l'interesse e attiva dinamiche relazionali positive che migliorano l'esperienza di

apprendimento. Il coinvolgimento è legato, in particolare, alla relazione significativa che si instaura tra lo studente e il robot, e alla capacità dell'artefatto di catturare e mantenere l'attenzione.
Turkle e colleghi (2006) hanno evidenziato come i bambini descrivano l'interazione con il cane robotico *Aibo* sia come se fosse un giocattolo, sia come se fosse un cucciolo reale. In tale prospettiva, Turkle (2007) definisce il robot un *artefatto relazionale*, capace di assumere due differenti ruoli: quello di *oggetto Rorschach*, che riflette problemi e dinamiche interiori dell'alunno, rivelandone strategie di adattamento; e quello di *oggetto evocativo*, che stimola la riflessione e promuove pensiero metacognitivo. L'apprendimento mediato dai robot può essere definito *sostenibile*, in quanto coinvolge attivamente gli studenti in situazioni stimolanti, capaci di incentivare la metacognizione e di promuovere lo sviluppo di competenze trasversali fondamentali, quali la comunicazione, la collaborazione e la fiducia in sé.
In riferimento alla dimensione dell'insegnamento, i robot possono svolgere un ruolo di facilitatori dell'apprendimento, sostenendo pratiche didattiche innovative e inclusive. Il modello pedagogico che meglio si adatta a tali pratiche deve essere dinamico e flessibile, permettendo ai partecipanti di assumere alternativamente il ruolo di discenti o di tutor, a seconda delle circostanze. Questo approccio si inserisce perfettamente nella cornice teorica della *Zona di Sviluppo Prossimale* di Vygotsky (1978), che distingue tra ciò che un alunno è in grado di fare autonomamente e ciò che può realizzare con l'assistenza di un altro soggetto più esperto.
In tale contesto, la valutazione non può che essere di tipo formativo e concepita come un processo dinamico e interattivo, in cui il *feedback* è integrato all'interno delle azioni programmate del robot e orientato al raggiungimento di obiettivi educativi.
La visione papertiana, coerente con la filosofia del linguaggio *LOGO*, sottolinea che il valore dell'apprendimento non risiede tanto nel trovare la risposta esatta, quanto nella capacità di far funzionare concretamente le cose. In questa prospettiva, l'esperienza educativa diventa un laboratorio di sperimentazione e scoperta.
Successivamente, Catlin (2017) ha individuato ventinove strategie distinte per l'utilizzo consapevole dei robot educativi in ambito scolastico, riferite alla progettazione e all'analisi delle attività didattiche. Queste strategie possono essere considerate come sotto-etichette, ovvero categorie operative che, in base alla loro combinazione creativa, danno origine a una vasta gamma di attività robotiche personalizzabili e adattabili a diversi contesti formativi.
Pedersen e colleghi (2022) hanno sviluppato una Tassonomia della Robotica Educativa (TER) per il contesto scolastico, articolata in sei differenti dimensioni (Tabella 4), con l'obiettivo di offrire ai docenti uno strumento operativo utile a identificare, analizzare e riflettere sulle proprie pratiche didattiche.

Tabella 4. I fondamenti della tassonomia sulla RE a scuola (TER) (Pedersen *et al.*, 2022)

Criterio	Definizione	Utilità del criterio
Livelli di collaborazione	Grado di coinvolgimento di agenti esterni (es. università, aziende, enti) nei programmi di RE	Consente di ampliare le possibilità educative e operative rispetto a quanto realizzabile autonomamente da ciascuna realtà scolastica.
Copertura fisica	Estensione spaziale della RE (gruppi, classi, livelli scolastici)	Permette di analizzare la diffusione della RE, distinguendo tra implementazioni a livello micro (es. singole classi) o macro (es. interi istituti o cicli scolastici).

Criterio	Definizione	Utilità del criterio
Integrazione curricolare	Grado di integrazione della RE nei programmi scolastici (disciplinare, extracurricolare, trasversale)	Aiuta a comprendere le diverse strategie didattiche adottate e le finalità educative perseguite con la RE.
Relazione con l'area STEM	Connessione tra la disciplina coinvolta nella RE e le aree STEM	Utile per valutare l'ampiezza e la profondità dell'integrazione della RE all'interno delle discipline nel contesto dell'educazione K-12.
Ruolo	Funzione attribuita alla RE: supporto all'apprendimento o applicazione pratica	Consente di distinguere se la RE agisce come strumento didattico per sviluppare competenze (es. pensiero computazionale) o per affrontare problemi reali in ambiti disciplinari.
Livello	Grado di immaginazione, invenzione e innovazione richiesto nelle attività di RE	Utile per valutare il contributo della RE allo sviluppo della creatività, misurando anche il livello di autonomia concessa agli studenti e la complessità delle sfide proposte.

Questa categorizzazione si presenta come il punto di partenza di un processo in divenire, un *work in progress* aperto al contributo di tutti gli attori coinvolti e interessati RE, con l'obiettivo di giungere, nel tempo, alla definizione di una tassonomia più articolata e strutturata. Sarà pertanto necessario, nell'evoluzione della presente tassonomia, integrare ulteriori elementi fondamentali come le strategie didattiche, le metodologie, le tempistiche e le modalità operative, affinché tali criteri possano essere utilizzati concretamente nell'ambito più ampio della *Robotica in Educazione* (RiE).

Negli ultimi anni, nel contesto educativo nazionale, si è assistito a un progressivo ripensamento dei metodi più efficaci per accompagnare i docenti nella progettazione consapevole di esperienze didattiche che integrino la robotica. Le attività sono state realizzate attraverso modalità operative differenti; di seguito si intende presentarne alcune tra le più significative, emerse da numerose esperienze condotte sul campo, che si sono dimostrate utili nella strutturazione di percorsi di apprendimento con l'uso del robot.

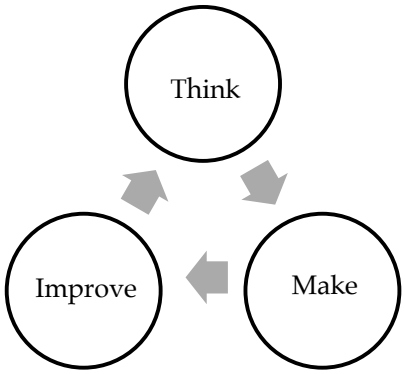
Uno dei modelli più rilevanti è il *Think-Make-Improve* (TMI) (Guasti & Rosa, 2017; Martinez & Stager, 2021), ideato e promosso dai ricercatori dell'Istituto Nazionale di Documentazione, Innovazione e Ricerca Educativa (INDIRE) (Figura 8). Nato inizialmente come approccio applicativo in ambito lavorativo, il TMI si fonda sulla realizzazione di un prodotto finale – che non necessariamente deve essere fisico – attraverso un processo iterativo e ciclico, articolato in tre fasi principali: ideazione, realizzazione e verifica. Il modello, ispirato alle logiche di sviluppo del software, prevede una fase di miglioramento basata sull'analisi dei dati e sull'eventuale rielaborazione del progetto originario (*re-design*), rendendolo perfettamente compatibile con gli obiettivi educativi. In ambito scolastico, il TMI si integra con i principi della *pedagogia maker* e della stampa 3D, valorizzando il coinvolgimento attivo degli studenti nella progettazione e costruzione autonoma del robot. Questo approccio stimola una riflessione profonda durante ogni fase del progetto, favorendo processi metacognitivi e promuovendo la capacità di ripensare e riformulare le soluzioni adottate. Il ciclo si sviluppa attraverso tre fasi distinte:

- *Think:* fase esplorativa di analisi del problema e pianificazione, durante la quale gli studenti sono chiamati a immaginare e definire gli aspetti pratici, organizzativi e funzionali necessari all'avvio del processo.

- *Make:* fase operativa di realizzazione del progetto, caratterizzata da collaborazione tra pari, condivisione delle idee e costruzione concreta dell'oggetto o del prototipo.
- *Improve:* fase di valutazione e collaudo, in cui si analizza la coerenza tra il prodotto realizzato e quanto progettato. Se il risultato non risponde alle aspettative, il gruppo può rientrare nella fase di riprogettazione, valorizzando l'errore come occasione formativa per il consolidamento delle conoscenze e il perfezionamento dell'elaborato.

Questo modello, orientato alla creatività e all'apprendimento attivo, consente di sviluppare percorsi educativi in cui il robot non è solo un oggetto da programmare, ma diventa il fulcro di un processo cognitivo e progettuale dinamico, fondato sull'esperienza, sulla riflessione e sul miglioramento progressivo.

Figura 8. Il ciclo iterativo del *Think-Make-Improve* (TMI)



La struttura progettuale del modello *Think-Make-Improve* (TMI) è stata applicata in recenti sperimentazioni condotte nell'ambito dei Programmi Operativi Nazionali (PON) dedicati alla RE e al coding (Nulli *et al.*, 2022).

Un secondo modello individuato è denominato *IDeAL* (*Iterative Design for Active Learning*), che può essere considerato come una possibile evoluzione del TMI. I due approcci condividono alcuni principi fondamentali, quali la ricorsività del processo, la riflessione continua sull'artefatto e l'attivazione di processi cognitivi lungo tutte le fasi del lavoro. Tuttavia, l'IDeAL appare particolarmente adatto per contesti educativi di grado superiore, come la scuola secondaria, in quanto maggiormente strutturato e orientato allo sviluppo di apprendimenti più maturi.
Il modello IDeAL si articola in nove fasi distinte e coniuga il sapere scientifico con l'esperienza pregressa degli studenti e lo sviluppo delle competenze trasversali. La sua impostazione complessa incoraggia la formulazione di inferenze e ipotesi articolate, ponendosi come strumento metodologico efficace per sostenere la costruzione di conoscenze profonde e significative.

Il terzo metodo presentato è quello degli *Episodi di Apprendimento Situato* (EAS), teorizzati da Rivoltella (2013, 2015). La scelta di adottare questo approccio per l'implementazione di attività di RE nasce dalla convinzione che l'integrazione della robotica nei curricoli scolastici non debba necessariamente presupporre il ricorso a metodologie estranee alla pratica didattica quotidiana degli insegnanti. Al contrario, gli EAS valorizzano la professionalità docente e si fondano su una progettualità coerente con la formazione dei docenti e le esigenze operative della scuola.

L'approccio EAS si ispira ai principi dell'attivismo pedagogico e richiama esplicitamente la *scuola del fare* di Freinet, il *learning by doing* di Dewey (1938), l'apprendimento per scoperta di Bruner (1961) e le influenze montessoriane. È inoltre connesso al paradigma del *micro-learning*, come teorizzato da Pachler e colleghi (2010), secondo cui l'apprendimento si sviluppa attraverso attività brevi, mirate e strutturate su segmenti semantici definiti, con compiti di produzione attiva e finalità metacognitive. Il modello EAS è adattato e integrato, ispirando la struttura laboratoriale della RE e si articola in tre fasi principali – preparatoria, operatoria e ristrutturativa – ognuna delle quali prevede azioni specifiche da parte dell'insegnante e degli studenti, fondate su una logica didattica ben definita:

Fase preparatoria. In questa fase iniziale, l'insegnante assegna i compiti, espone gli obiettivi da raggiungere e fornisce uno stimolo iniziale. Prepara i materiali necessari, propone un *framework* concettuale di riferimento e formalizza la consegna. Gli alunni, dal canto loro, ascoltano, leggono, comprendono le istruzioni e si cimentano nel *problem finding* e nella definizione del problema (*problem setting* e *problem posing*). La logica didattica sottesa è quella dell'esplorazione e dell'avvio del pensiero progettuale, spesso mediato da momenti di brainstorming collettivo.

Fase operatoria. L'insegnante definisce i tempi e le modalità operative dell'attività, organizza il lavoro individuale e/o cooperativo, suddivide gli alunni in gruppi e assume il ruolo di facilitatore dell'apprendimento. Gli studenti collaborano nella produzione di un artefatto – fisico, digitale o cognitivo – condividendo idee e soluzioni in un'ottica di *project-based learning*, *collaborative learning* e *problem solving*. È questa la fase centrale della costruzione, dove la logica del *learning by doing* è predominante.

Fase ristrutturativa. A conclusione del percorso, l'insegnante valuta gli artefatti prodotti, corregge eventuali misconcezioni e consolida i concetti emersi durante l'attività. Gli studenti analizzano criticamente i risultati ottenuti, riflettono sui processi attivati e, attraverso attività di *debugging* e revisione (*texting*), sviluppano competenze metacognitive. In questa fase prevale la logica del *reflective learning*, che può essere sostenuta anche da pratiche dialogiche come il *circle time*.

L'integrazione tra la struttura degli EAS e la RE permette di articolare percorsi di apprendimento significativi e sostenibili, in cui la presenza del robot non è fine a sé stessa, ma si inserisce all'interno di un disegno didattico intenzionale, favorendo processi cognitivi complessi e la costruzione attiva della conoscenza.
Il metodo degli *EAS* si presenta particolarmente promettente nell'ottica di un'integrazione sistematica della RE all'interno del curricolo scolastico. Gli studi che ne hanno analizzato l'applicazione nella didattica d'aula evidenziano come tale approccio rappresenti un valido *modus operandi* in numerosi ambiti disciplinari, tra cui:

- la didattica inclusiva (Rivoltella, 2014) e interculturale (Cannì, 2018);

- l'insegnamento delle discipline STEM e del pensiero computazionale (Macchia & D'Ambrosio, 2018; Marchisoni & Montagnoli, 2018; Marchignoli & Lodi, 2016);
- l'educazione linguistica e il potenziamento del pensiero critico e argomentativo (Fiore & Morrone, 2019; Leone & Luzzini, 2016; Pelosi, 2019);
- l'insegnamento della musica (Piritore, 2017).

Gli EAS sono stati sperimentati in Italia attraverso numerosi progetti di ricerca-azione, che hanno coinvolto insegnanti di diverse discipline. Queste esperienze hanno portato alla produzione di una collana di pubblicazioni dedicate, nelle quali sono stati analizzati approcci, risultati e criticità, dimostrando come il metodo possa essere considerato efficaci e versatile nella pratica didattica.
Ciò che rende particolarmente rilevante l'approccio degli EAS è la sua compatibilità con le esigenze della didattica contemporanea e con i bisogni formativi dei docenti: da un lato, favorisce il superamento del divario tra i linguaggi e le pratiche dell'educazione informale – tipica dei contesti sociali e digitali – e quelli della didattica formale; dall'altro, stimola una riflessione condivisa e approfondita sui processi educativi.
Considerando che la RE ha avuto origine proprio in contesti non formali e specialistici – come dimostrano esperienze diffuse nei *CoderDojo* – risulta particolarmente interessante la possibilità di collocarla all'interno di un metodo, come quello degli EAS, che si propone esplicitamente di coniugare l'approccio laboratoriale con la didattica per competenze. In tale prospettiva, gli artefatti prodotti dagli studenti – inizialmente robotici – si trasformano in artefatti cognitivi, frutto di un processo di costruzione attiva del sapere, mediato dalla tecnologia ma orientato allo sviluppo di riflessione, consapevolezza e capacità trasversali.

Un ulteriore modello metodologico che si è rivelato particolarmente efficace per sostenere l'integrazione della RE è quello dell'UDL. L'UDL propone un approccio flessibile e inclusivo alla progettazione didattica, basato su tre principi fondamentali: offrire molteplici modalità di rappresentazione dei contenuti, molteplici modalità di azione ed espressione e molteplici modalità di coinvolgimento (CAST, 2018). Questo quadro si adatta in modo naturale alla RE, che per sua stessa natura si fonda su attività multimodali, concrete e collaborative. Recenti ricerche hanno evidenziato il potenziale dell'UDL applicato alla RE. Marras e colleghi (2024a) hanno documentato come l'adozione dell'UDL nella progettazione di percorsi di RE nelle scuole ticinesi abbia favorito l'accessibilità delle attività, permettendo di differenziare obiettivi, strumenti e processi a seconda dei profili degli studenti, con ricadute positive sia sul piano cognitivo che motivazionale. Analogamente, Vitale e Dello Iacono (2024) hanno esplorato l'impiego di robot sociali per l'apprendimento della matematica attraverso la narrazione, mostrando come i principi UDL – in particolare la personalizzazione dei compiti e il *feedback* immediato – possano ampliare le opportunità di partecipazione in classi eterogenee. Infine, lo studio di Rodríguez Lera *et al.* (2025) estende l'applicazione dell'UDL alla progettazione stessa dell'interfaccia robotica, dimostrando come la creazione di sistemi spiegabili e multimodali possa rendere l'interazione con i robot più accessibile a studenti con BES.
Queste esperienze confermano come l'UDL non rappresenti solo una cornice metodologica astratta, ma possa costituire un vero e proprio principio guida per la progettazione, l'implementazione e persino lo sviluppo tecnologico della RE. L'integrazione dell'UDL nei percorsi

di RE consente, infatti, di unire l'innovazione tecnologica a una didattica autenticamente inclusiva, capace di valorizzare la diversità come risorsa per l'apprendimento. Tale prospettiva sarà oggetto di specifico approfondimento nel capitolo conclusivo, dove verranno esplicitati i principi dell'UDL e le modalità concrete della sua applicazione nell'ambito della RE.

Le riflessioni fin qui condotte conducono a immaginare una scuola profondamente rinnovata, radicata nella realtà contemporanea e capace di rispondere alle sfide educative e formative del nuovo millennio. Una visione già prefigurata dallo stesso Papert (Papert & Bellomi, 1994), che auspicava un'integrazione consapevole e critica dei dispositivi digitali, non come strumenti da subire passivamente, ma da utilizzare attivamente per perseguire scopi personali e didattici significativi.

In tale prospettiva si delinea una didattica personalizzata, capace di valorizzare il pensiero creativo e divergente degli studenti. Perché ciò si realizzi concretamente, si rende necessario un ripensamento profondo delle modalità con cui le tecnologie digitali vengono introdotte nel contesto scolastico formale. Esse non dovrebbero essere confinate esclusivamente all'aula di informatica, né utilizzate solo in momenti disciplinari prestabiliti e secondo protocolli rigidi, ma integrate sistematicamente nel tessuto della pratica educativa quotidiana.

Per dare concretezza a questa visione, occorrerebbe promuovere una forma di *tecnologia didattica progressista*, identificata con l'acronimo *PET* (*Progressive Educational Technology*), di cui il linguaggio *LOGO* rappresenta una delle prime incarnazioni disponibili sul mercato. Questo approccio ha ispirato, nel tempo, una serie di movimenti dal basso che hanno favorito la diffusione di strumenti e applicazioni educative progettate per sostenere l'apprendimento scolastico e lo sviluppo delle competenze digitali. I docenti che hanno aderito a questa visione hanno messo in discussione i modelli tradizionali della scuola, mostrando consapevolezza rispetto ai benefici offerti dalle tecnologie digitali: tra questi, il feedback immediato, la personalizzazione dei percorsi e la neutralità del dispositivo tecnologico, privo di pregiudizi.

Questa linea di pensiero ha trovato conferma anche in importanti dichiarazioni istituzionali, come il discorso pronunciato dall'ex Presidente Barack Obama nel 2013, nel quale si sottolineava la necessità che tutti gli studenti americani, dall'infanzia fino alla scuola secondaria, ricevessero una formazione informatica adeguata e acquisissero il pensiero computazionale necessario per diventare creatori, e non semplici consumatori, nell'economia digitale. Il discorso di Obama ha rappresentato una svolta simbolica e politica, segnando l'inizio di un processo di rinnovamento sistemico volto all'inclusione del coding e dello sviluppo del pensiero computazionale nei curricoli scolastici, non solo negli Stati Uniti ma anche in numerosi altri paesi.

In questo scenario, la RE si configura come un potente veicolo per ripensare l'insegnamento e, più in generale, l'educazione (Alimisis, 2012). I laboratori di RE dovrebbero essere considerati al pari delle attività didattiche curricolari, articolandosi secondo tre fasi fondamentali: una fase di progettazione, nella quale si definiscono obiettivi coerenti con la programmazione didattica; una fase di implementazione, che concretizza l'idea progettuale attraverso l'allestimento dell'ambiente di apprendimento; e infine una fase valutativa, incentrata sull'*assessment* degli esiti e sull'analisi dei processi attivati.

Le pratiche di RE possono essere supportate da molteplici architetture metodologico-didattiche (Bonaiuti, 2014), che spaziano da approcci collaborativi a strategie esplorative. Tali

approcci risultano efficaci non solo nei contesti educativi formali, ma anche in quelli informali e non formali, confermando la versatilità e la rilevanza pedagogica della robotica come strumento di innovazione e inclusione.

3.2.2 Verso una tassonomia di robot, interfacce ed esperienze

Per rendere più chiara la varietà di approcci e strumenti che caratterizzano la RE, in questo paragrafo verranno presi in esame: i criteri che definiscono un'attività come oggetto di ricerca pedagogica, le definizioni e caratteristiche fondamentali dei robot educativi, le principali tassonomie proposte in letteratura, le tipologie di robot più diffuse e, infine, le interfacce di programmazione che ne permettono l'utilizzo a fini didattici. Per definire un'attività come oggetto di ricerca nell'ambito pedagogico della RE, i ricercatori del progetto europeo ER4STEM (Angel-Fernandez & Vincze, 2018) hanno proposto una serie di caratteristiche essenziali, pensate come linee guida condivise per tutti gli *stakeholder* coinvolti. In particolare, si evidenziano tre criteri fondamentali:

1. la definizione chiara degli obiettivi di apprendimento e delle relative modalità di valutazione, siano esse di tipo formale o informale;
2. l'impiego di strategie didattiche diversificate, ciascuna delle quali deve essere esplicitata e descritta nelle varie fasi dell'attività;
3. la necessità di descrivere le attività attraverso l'utilizzo di modelli strutturati.

Questi criteri fungono da cornice iniziale e introducono la necessità di disporre di tassonomie e classificazioni capaci di orientare la progettazione didattica della RE. Nel quadro delle concezioni che distinguono la RE dalla più ampia RiE, emerge l'idea che la RE debba promuovere esperienze di apprendimento significative fin dall'infanzia (Scaradozzi *et al*., 2015), in linea con i presupposti dell'apprendimento significativo teorizzato da Ausubel (1968). In questo contesto, alcuni studiosi (Scaradozzi *et al*., 2019b) hanno elaborato una classificazione utile a sistematizzare strumenti, pratiche ed elementi valutativi legati all'implementazione della RE. Tale classificazione si articola lungo quattro dimensioni fondamentali della didattica:

- *l'ambiente di apprendimento*, che può essere formale (es. aula scolastica) o non formale (es. laboratori, contesti extracurriculari);
- *l'impatto sul curricolo*, distinguendo tra esperienze pienamente curricolari e iniziative extracurricolari;
- *le modalità e finalità d'impiego del robot*, che possono configurarsi come robot educativi, robot sociali, robot assistivi o robot assistivi-sociali, in base al ruolo pedagogico assegnato;
- *la tipologia di valutazione*, che può essere qualitativa, quantitativa oppure integrata secondo un approccio *mixed methods*.

Queste quattro dimensioni rappresentano criteri fondamentali per la progettazione consapevole e strutturata di esperienze di RE, offrendo parametri operativi per orientare le scelte

metodologiche e didattiche. In questa prospettiva, un'indagine multi-metodo che combina rassegna sistematica, interviste a esperti e indagini ai docenti individua cinque ambiti di applicazione dei robot educativi: educazione linguistica, educazione alla robotica, assistenza all'insegnamento, sviluppo di abilità sociali e bisogni educativi speciali, e apprendimento guidato dal *feedback* (Cheng *et al*., 2018).
Dopo aver chiarito i criteri generali, è utile soffermarsi sui dispositivi robotici stessi, che rappresentano la base materiale delle attività. In tal senso, risulta imprescindibile soffermarsi sull'analisi della vasta gamma di dispositivi robotici attualmente disponibili sul mercato. La selezione del robot da utilizzare, infatti, non è neutra: essa riflette precise intenzionalità educative e determina, in larga misura, la natura e gli obiettivi delle attività progettate. Approfondire le caratteristiche dei robot educativi significa quindi interrogarsi sui modelli formativi che si intendono promuovere, sulle competenze da sviluppare e sull'efficacia delle pratiche didattiche in relazione agli strumenti adottati.

Il termine *robot* ha un significato ampio e stratificato. Etimologicamente deriva dal ceco *robota*, che significa "lavoro pesante", ed è stato introdotto per la prima volta nel 1920 dallo scrittore ceco Karel Čapek nel dramma teatrale *R.U.R.* (*Rossum's Universal Robots*), per indicare un operaio artificiale. Successivamente, il concetto ha trovato larga diffusione nell'immaginario collettivo e nella letteratura di fantascienza, basti pensare al celebre volume di Isaac Asimov *"I, Robot"* (1950), nel quale vengono enunciate le tre leggi fondamentali della robotica. Al di là di queste suggestioni letterarie, è fondamentale chiarire, in ambito scientifico ed educativo, cosa si intenda effettivamente per *robot*. Secondo McKerrow (1986), un robot può essere definito come «una macchina programmabile capace di svolgere compiti diversi». Tale definizione è stata successivamente ampliata da Calmet e colleghi (2016) (in Beltrametti *et al*., 2017), che descrivono i robot come dispositivi dotati di:

- *sensori* (ad esempio di contatto, distanza, colore, forza), che permettono la percezione e l'acquisizione di informazioni dall'ambiente;
- *attuatori* (motori, LED, altoparlanti, *buzzer*, *display*), che rendono possibile l'interazione fisica con il contesto esterno;
- *un sistema di controllo*, che governa il comportamento del robot e ne determina le azioni in risposta agli stimoli ricevuti.

Questi elementi strutturali sono considerati indispensabili per poter attribuire correttamente la qualifica di *robot* a un artefatto.
Il settore industriale della robotica oggi offre una grande varietà di dispositivi, ciascuno adatto a tipologie differenti di esperienze didattiche. Alcuni studiosi (Catlin *et al*., 2018a) hanno tentato di costruire tassonomie che permettano di classificare questi strumenti, altamente eterogenei per caratteristiche *hardware* e s*oftware*. Una prima distinzione operata riguarda la finalità originaria del dispositivo: si distinguono robot progettati specificamente per l'ambito educativo da quelli adattati all'uso scolastico pur essendo nati con altri scopi.

Successivamente, è stato proposto un modello di classificazione basato su quattro criteri principali (Scaradozzi *et al.*, 2019b):

1. la fascia d'età per cui il robot è destinato;
2. il linguaggio di programmazione associato;
3. la necessità o meno di montaggio del dispositivo;
4. l'ambiente operativo (aria, terra, acqua).

La combinazione di questi criteri evidenzia la complessità del panorama robotico e l'ampiezza delle pratiche educative che vi si possono associare, al punto che può risultare difficile orientarsi senza un'adeguata sistematizzazione. Escludendo le attività *unplugged*, dove i robot vengono simbolicamente sostituiti da persone o oggetti (ad esempio un bambino che simula il comportamento di un robot), è possibile distinguere due categorie principali:

- *robot compatti*, già assemblati e dotati di funzionalità limitate e preconfigurate;
- *robot in kit di montaggio*, che includono componenti meccaniche ed elettroniche – sensori, attuatori, ruote, ingranaggi, ecc. – e permettono la costruzione personalizzata di dispositivi originali.

Oltre ai robot disponibili in commercio, esistono strumenti realizzati ad hoc da ricercatori, insegnanti e studenti per finalità educative (Bellas *et al.*, 2018; Ferrarelli *et al.*, 2019). La possibilità di ideare, progettare e costruire un robot pone in primo piano la dimensione tecnologica, offrendo un'opportunità concreta per sviluppare competenze digitali legate alla scoperta della cosiddetta "scatola nera dell'*hardware*" (Di Tore *et al.*, 2019). I robot da costruire, infatti, consentono una maggiore libertà creativa: dalla personalizzazione estetica del dispositivo fino alla definizione delle modalità di interazione, determinate dalla scelta e dalla configurazione dei sensori utilizzati.
A queste due categorie si aggiungono i robot sociali, caratterizzati dalla capacità di interagire fisicamente e comunicativamente con gli esseri umani. Questi robot, spesso supportati da software avanzati e da algoritmi di intelligenza artificiale, sono progettati per modulare le risposte comportamentali in base alle emozioni, alle azioni degli interlocutori e al contesto ambientale.
A titolo esemplificativo, di seguito una sintesi fornita da Bonaiuti e colleghi (2022b) che presenta le principali modalità di impiego e delle finalità educative associate alle tre tipologie di robot menzionate (compatti, da costruire, sociali), includendo anche alcuni dei prodotti commerciali più diffusi e documentati nella letteratura scientifica e divulgativa (Tabella 5).
Per ciascuna delle prime due tipologie di robot illustrate (Tabella 5), sono generalmente disponibili accessori e strumenti di supporto aggiuntivi che consentono di ampliare gli scenari d'impiego, favorendo così una maggiore diversificazione delle finalità educative. Questi elementi accessori permettono di sollecitare livelli differenziati di coinvolgimento e di impegno da parte degli alunni, adattandosi alle esigenze specifiche dei contesti didattici.
Nel caso dei robot compatti da pavimento, il valore formativo risiede principalmente nelle possibilità di espansione offerte (Kradolfer *et al.*, 2014). Tra gli strumenti aggiuntivi più diffusi si annoverano: tappeti tematici e personalizzabili utilizzabili per percorsi interdisciplinari, dispositivi sonori e strumenti musicali, lettori tattili (*tactile reader*) e numerosi altri accessori – in

costante aggiornamento – in grado di stimolare lo sviluppo integrato di abilità cognitive, sensoriali e motorie in maniera ricca e personalizzata.

Tabella 5. Tipologie di robot e finalità educative (Bonaiuti *et al.*, 2022)

Tipologia	Impiego	Finalità educative	Prodotti[9]
Robot compatti (Codey Rocky)	Programmare il funzionamento del robot e sulla base delle espansioni disponibili (sensori e attuatori). Realizzare dispositivi robotici più sofisticati e capaci di compiere azioni nello spazio fisico, interpretando anche dati ambientali (luce, temperatura, colori etc.).	Educazione al pensiero computazionale; alle discipline STEAM, alle soft skills (collaborazione)	Bee-bot*, Blue-bot**, Sphero, Ollie, Doc, Photon, Thymio II, Cubetto, mTiny, Dash & Dot, Matatalab Lite, Edison, Ozobot, InObot, Codey Rocky, Pro-bot, Cue, droni.
Robot da assemblare (m-Bot)	Progettare, costruire e assemblare componenti o moduli preesistenti per creare il proprio robot. Programmare il funzionamento del robot costruito e sulla base delle espansioni disponibili (sensori, motori, attuatori, display, LED, buzzer etc.). Realizzare dispositivi robotici più sofisticati e capaci di compiere azioni nello spazio fisico, interpretando anche dati ambientali (luce, temperatura, colori etc.).	Potenziamento abilità fino-motorie; sviluppo capacità di *problem solving* e coordinazione oculo-manuale; Educazione al pensiero computazionale; alle discipline STEAM; alle soft skills (ad esempio collaborazione)	mBot, Lego We Do, Lego Spike, Prime, Lego Mindstorms
Robot sociali (NAO)	Realizzare esperienze interattive e di comunicazione efficace: robot programmati per rispettare norme socioculturali e riconoscere emozioni così da svolgere azioni di accompagnamento e favorire scambi relazionali significativi per l'utente sul piano cognitivo, emotivo e affettivo.	Potenziamento e sviluppo di competenze sociali; Apprendimento della lingua L2;	Abilix Krypton, Kaspar, NAO, IROMEC, Pepper, Walker, iCub

I robot educativi più semplici, particolarmente indicati per l'introduzione nella scuola dell'infanzia, si basano su un sistema di programmazione tangibile *on board*, ovvero direttamente sull'hardware del robot (Figura 9). In questi dispositivi, la programmazione avviene attraverso la pressione di tasti fisici posti sul corpo del robot stesso. Un esempio emblematico è rappresentato dal *Blue-Bot*, i cui comandi, situati sul dorso, sono intuitivamente riconoscibili grazie a simboli iconici: frecce direzionali per indicare il movimento, un tasto "*pause*" (che inserisce una pausa di un secondo), il tasto "*clear*" (per cancellare i comandi memorizzati) e infine il tasto "*go*" (per avviare l'esecuzione del programma).

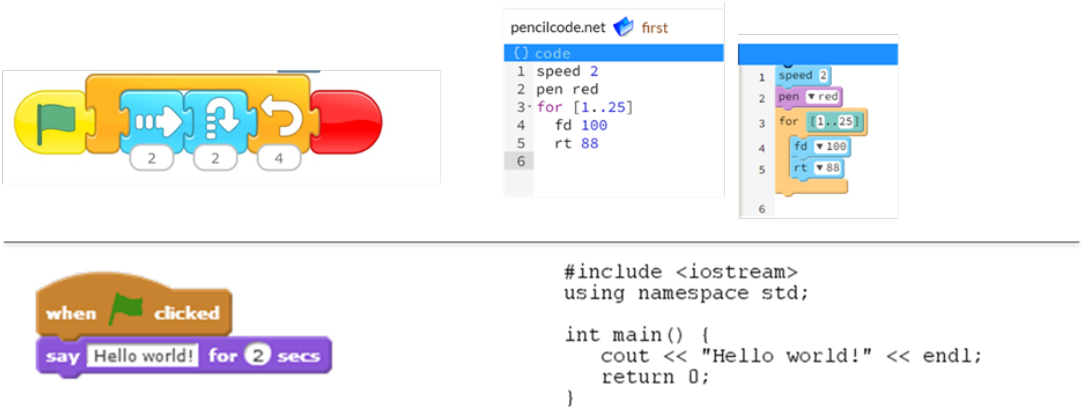
[9] In tabella vengono evidenziati con un asterisco (*) i dispositivi non definibili "robot" in quanto, non essendo dotati di sensori, non soddisfano i criteri individuati da Calmet e colleghi (2016). I dispositivi che ne presentano due (**) possono considerarsi robot nell'ultima versione immessa nel mercato, grazie all'aggiunta di un sensore in grado di rilevare la presenza di altri robot.

Figura 9. Tasti direzionali di programmazione tangibile del robot Blue-Bot

Le interfacce tangibili con tappeto a griglia rendono trasparente la corrispondenza "un codice significa un'unità di movimento", facilitando pianificazione e *debugging* in età precoce grazie all'ancoraggio percettivo-motorio (Clarke-Midura *et al.*, 2021).
I robot più avanzati sono dotati di una gamma estesa di sensori, in grado di rilevare informazioni ambientali di varia natura – come luce, colore, suoni – e di attuatori che consentono loro di eseguire molteplici azioni. Grazie alla loro compatibilità con diversi ambienti software, questi robot possono essere programmati sia attraverso interfacce visuali basate su blocchi logici colorati – da trascinare e combinare come tessere di un puzzle – sia mediante linguaggi testuali più sofisticati, come Java, Python o C++. Accanto alla distinzione tra tipologie di robot, un ulteriore elemento centrale riguarda le interfacce e i linguaggi di programmazione. Una tassonomia proposta da McGill e Decker (2020) distingue i linguaggi di programmazione in quattro categorie principali (Figura 10):

1. simbolico a blocchi,
2. testuale a blocchi,
3. ibrido,
4. testuale puro.

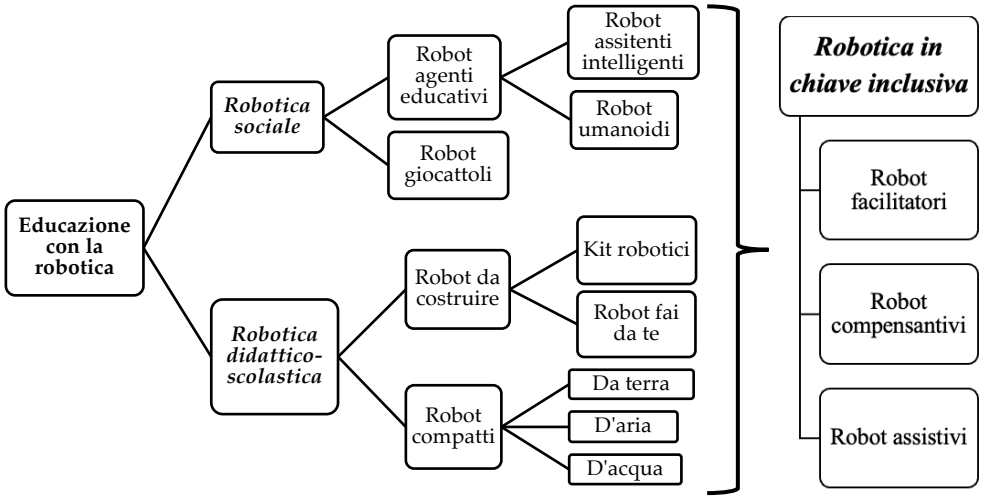
Figura 10. Esempio di linguaggio: simbolico a blocchi (*ScratchJr*; alto a sinistra), testuale a blocchi (*Scratch*; basso a sinistra), ibrido (*pencilcode.net*; alto a destra) e testuale (*C++*; basso a destra) (Negrini *et al.*, 2024)



Le prime tre categorie rientrano nell'ambito dei linguaggi visuali e presentano un'interfaccia intuitiva e stimolante, pensata per rendere l'atto del programmare un'attività creativa e accessibile, anche per i più giovani. Tali ambienti consentono di costruire algoritmi mediante blocchi predefiniti che rappresentano istruzioni, condizioni, cicli, variabili e altre funzioni logiche (Garneli *et al.*, 2015).
Queste interfacce sono particolarmente adatte agli studenti in età scolare, poiché forniscono un supporto diretto alla sintassi durante la scrittura del codice, impedendo la combinazione di blocchi incompatibili e prevenendo così la generazione di sequenze errate (Lin & Weintrop, 2021).
Indipendentemente dalla modalità di programmazione – fisica *on board*, tangibile, visuale o testuale – la robotica introduce un livello di concretezza ulteriore rispetto al semplice coding. Il robot, infatti, non si limita ad eseguire istruzioni astratte, ma agisce nel mondo reale: percepisce l'ambiente tramite i sensori, svolge azioni concrete e prende decisioni, ad esempio evitando ostacoli, seguendo linee, riconoscendo oggetti o compiendo ricerche nello spazio fisico. A questo si unisce un aspetto ludico e competitivo che rende l'esperienza ancora più coinvolgente. L'evoluzione della RE ha portato allo sviluppo di modalità di programmazione sempre più differenziate: si è passati da linguaggi testuali riservati a utenti esperti a sistemi di programmazione visuale o tangibile, accessibili anche a studenti senza precedenti competenze informatiche. In questo scenario, il *coding* si configura come una metaconoscenza imprescindibile per la programmazione dei robot, da adattare attentamente in base a tre fattori: la fascia d'età degli studenti, il livello di competenza digitale posseduto e la natura delle attività proposte, spesso legate a percorsi interdisciplinari co-progettati all'interno di una visione di continuità didattica. Una progettazione didattica efficace, infatti, rappresenta la condizione essenziale per lo sviluppo di reali capacità di programmazione attraverso la RE (Lye & Koh, 2014).
Gli strumenti digitali e applicativi, negli ultimi dieci anni, hanno conosciuto una crescita esponenziale, moltiplicando le opportunità di apprendimento collaborativo e creativo, anche grazie alla possibilità di condividere in rete le proprie creazioni: giochi, animazioni, storie interattive, applicazioni.
Un esempio paradigmatico è *Scratch*, sviluppato dal *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) sotto la direzione di Mitchel Resnick. Utilizzato frequentemente nei club di programmazione come i *CoderDojo*, *Scratch* consente di salvare i progetti online, scaricarli e modificarli, promuovendo così pratiche collaborative e di *remixing*, coerenti con la filosofia dell'open source. *Scratch* adotta un linguaggio di programmazione visuale: l'interfaccia utilizza blocchi colorati e testuali che, grazie a un'interazione di tipo *drag & drop*, permettono di generare codice e dar vita ad azioni programmate (Piedade *et al.*, 2019). Per i più piccoli, esiste anche una versione semplificata – *ScratchJr* – basata su un linguaggio simbolico a blocchi, pensato per i primi approcci alla programmazione.
I robot più articolati, inoltre, necessitano spesso di essere programmati attraverso app dedicate e piattaforme specifiche. Nel caso del *Blue-Bot*, ad esempio, lo sviluppo dell'applicazione *Blue's Blocs* ha introdotto una programmazione a blocchi più avanzata, che include operatori booleani, l'utilizzo di variabili e funzioni numeriche. La connessione al robot avviene tramite *Bluetooth* e consente agli studenti un'interazione cinestetica, che può essere orientata a concetti logico-matematici e all'acquisizione di abilità aritmetiche fondamentali.

Tra le piattaforme attualmente più diffuse nel campo della RE, si segnalano in particolare *mBlock*, sviluppata a partire da *Scratch 3.0* dall'azienda cinese *Makeblock Education*, e *LEGO MindStorm*, entrambe ampiamente utilizzate nei contesti scolastici. La programmazione su queste piattaforme avviene prevalentemente tramite editor grafici a blocchi, personalizzabili ed estensibili, che impiegano colori differenti per distinguere le varie categorie funzionali (aspetto, suono, eventi, controllo, sensori, ecc.).
Il valore aggiunto dell'impiego di un artefatto robotico tangibile si esprime nella possibilità di svolgere attività condivise all'interno di uno spazio fisico comune, promuovendo l'interazione concreta tra studenti e dispositivi. Come illustrato nei paragrafi precedenti, i robot sono dotati di attuatori (come LED, *buzzer*, *display* LCD, motori, relè) che consentono l'esecuzione di azioni, e di sensori (di luce, prossimità, temperatura, umidità, suono, colore, ecc.) che permettono la raccolta e l'elaborazione di informazioni provenienti dall'ambiente reale. Queste caratteristiche rendono i robot strumenti estremamente versatili, capaci di adattarsi a molteplici scenari didattici e contesti educativi. In un'ottica di apprendimento basato sulla progettazione, le attività di robotica offrono il potenziale per trasformare concetti astratti in prodotti tangibili, contribuendo così a ridurre la percezione di complessità legata a nozioni teoriche e linguistiche della programmazione (Bustillo & Garaizar, 2016; Erol, 2020).
Una volta chiarite le tipologie di robot e le modalità di programmazione, la letteratura ha cercato di organizzare questo panorama complesso attraverso modelli di categorizzazione più sistematici. La mappa seguente (Figura 11) presenta una tassonomia dell'educazione con la RE, ispirata ai lavori di Catlin e colleghi (2018b; 2019) nell'ambito del progetto *Edurobot*. Tale rappresentazione evidenzia le differenti caratteristiche dei robot educativi, permettendo di ipotizzarne le *affordance* e le potenzialità didattiche in funzione delle specifiche esigenze pedagogiche. La Figura (11), infatti, si propone di sintetizzare e classificare le principali declinazioni operative della RE, mettendole in relazione con le proprietà costitutive dei dispositivi robotici impiegati. In questo modo emerge chiaramente il carattere eclettico e la naturale interdisciplinarità della RE, che si presta a integrazioni trasversali nei diversi ambiti del sapere.

Figura 11. Mappa dell'Educazione con la RE e le tipologie di robot educativo



La tassonomia proposta da Catlin e colleghi (2018b; 2019) si configura come un progetto in fase di sviluppo, caratterizzato da un processo collaborativo, condiviso e in continua evoluzione. L'obiettivo degli autori è quello di classificare gli artefatti robotici in base alle loro caratteristiche tecniche, sia *hardware* che *software*, attraverso la definizione e la descrizione delle diverse componenti (sensori, attuatori, moduli). Sebbene tale lavoro rappresenti un contributo rilevante per la comprensione strutturale dei dispositivi, non affronta in modo approfondito aspetti fondamentali quali l'usabilità, l'utilità e l'accettabilità pedagogica degli stessi. Catlin e colleghi (2019) adottano, quindi, un approccio descrittivo centrato sulle componenti, mentre altri autori (Pei e Nie, 2018) si focalizzano sulle finalità educative e propongono una tassonomia orientata alla pratica didattica. Tematiche come le modalità di implementazione, le potenzialità educative e gli orientamenti didattici risultano pienamente valorizzate nel modello proposto da Pei e Nie (2018). Questi autori muovono dall'idea, sostenuta da Gan (2004), secondo cui i robot educativi sono progettati per affrontare specifiche problematiche legate al processo di insegnamento-apprendimento. Tali dispositivi, oltre a disporre dei sistemi di base, integrano risorse avanzate, come strumenti per l'analisi dell'apprendimento e per la rilevazione della situazione educativa, rendendoli capaci di adattarsi dinamicamente ai diversi contesti scolastici e formativi.
La prima distinzione proposta da Pei e Nie riguarda la natura del robot: fisico o virtuale. I *robot virtuali* sono software generati tramite programmazione informatica all'interno di ambienti di simulazione; presentano costi contenuti in termini di produzione, gestione e manutenzione. Al contrario, i *robot fisici* sono dispositivi più complessi che, sebbene più onerosi, offrono un livello di interazione più elevato e la possibilità di generare esperienze concrete, coinvolgenti e pratiche per gli studenti. In questa prospettiva, il robot si avvicina alla figura di *agente educativo*, in grado di supportare attivamente l'apprendimento e fungere da partner formativo.
L'impiego dei robot in ambito scolastico può assumere due direzioni principali: da un lato, come strumenti per la didattica disciplinare – ad esempio, nell'insegnamento delle STEM o nello sviluppo del pensiero computazionale – rientrando nella categoria dei robot per l'applicazione disciplinare; dall'altro, come supporto diretto all'attività didattica, nella forma di *robot-tutor*, impiegati per facilitare l'apprendimento e la gestione dei processi educativi.
Pei e Nie (2018) articolano la loro classificazione in quattro categorie di robot educativi:

1. *Robot assistente intelligente*, progettati per interagire con gli studenti e supportare attivamente i processi di apprendimento;
2. *Robot di simulazione virtuale*, ovvero ambienti digitali programmabili che simulano comportamenti robotici a fini didattici;
3. *Robot didattici non convenzionali*, comprendenti robot sociali, giocattoli intelligenti e robot umanoidi, spesso rivolti all'infanzia;
4. *Robot multifunzione*, costituiti da una combinazione modulare di *hardware* e *software*, con componenti intercambiabili e riconfigurabili che permettono di realizzare numerose attività, come nel caso dei kit robotici.

Questa classificazione amplia la prospettiva tecnico-funzionale di Catlin e colleghi, ponendo al centro della riflessione pedagogica la finalità educativa e l'applicabilità didattica dei robot nei diversi contesti formativi.
Nel medesimo studio, i ricercatori hanno individuato e descritto le principali caratteristiche che definiscono i robot educativi impiegati nel contesto scolastico. Sono stati identificati cinque aspetti fondamentali, che di seguito vengono analiticamente esposti:

1. *Flessibilità degli strumenti di apprendimento*: i robot permettono di progettare e personalizzare i contenuti didattici, superando le proposte standard fornite dai produttori e consentendo una maggiore aderenza alle esigenze educative specifiche.
2. *Digitalizzazione dei processi*: attraverso l'uso di programmi digitali, è possibile memorizzare e condividere dati. Il ricorso a tecniche di *data mining* consente agli insegnanti di monitorare i comportamenti degli studenti durante l'interazione con i software, offrendo così uno strumento utile per l'analisi dei percorsi di apprendimento.
3. *Ripetibilità operativa*: i robot possono svolgere compiti ripetitivi tipici dell'attività docente, liberando tempo e risorse che possono essere impiegati in attività pedagogicamente più rilevanti. Questa caratteristica si rivela utile anche nell'ambito della formazione tecnico-pratica, dove l'apprendimento richiede esercitazioni ripetute e continuative.
4. *Umanizzazione*: in particolare nei robot sociali, emerge la capacità di guidare gli studenti non solo nell'acquisizione di conoscenze, ma anche nell'adozione di comportamenti sociali condivisi e culturalmente accettati, favorendo lo sviluppo di competenze relazionali.
5. *Interazione naturale*: grazie a funzionalità avanzate come il riconoscimento vocale, facciale e l'analisi semantica, i robot sono in grado di instaurare un dialogo più autentico con gli studenti, generando feedback personalizzati e adattivi, in risposta alle specifiche esigenze del singolo discente.

Nel complesso, queste caratteristiche evidenziano il potenziale educativo dei robot nel contesto scolastico e ne illustrano i vantaggi operativi, che verranno ulteriormente approfonditi – unitamente alle problematiche connesse – nel capitolo successivo.
Gli studi di categorizzazione appena analizzati, pur non entrando nel merito del *brainware* dei dispositivi – ovvero della loro capacità di sostenere l'organizzazione, la socializzazione e la costruzione di competenze complesse – si rivelano particolarmente rilevanti dal punto di vista formativo. Pur senza affrontare in maniera esaustiva la dimensione del *brainware* dei dispositivi, queste classificazioni offrono un orientamento prezioso in un panorama complesso, risultando utili tanto a chi si avvicina per la prima volta alla robotica con competenze ancora limitate, quanto a chi desidera approfondire e consolidare il proprio bagaglio di conoscenze e abilità specifiche.

3.2.3 Strumenti e modalità di valutazione

La diffusione della RE a scuola richiede strumenti di valutazione validi, affidabili e coerenti con la natura multidimensionale delle esperienze laboratoriali. Oltre agli esiti cognitivi, è necessario rilevare processi, disposizioni e prodotti, evitando che osservazioni non strutturate e l'affidarsi esclusivamente a strumenti valutati tradizionali riducano la complessità formativa (Marcianò, 2017). In questa prospettiva distinguiamo strumenti rivolti agli studenti e strumenti rivolti ai docenti, in coerenza con il modello ERIM, promuovendo approcci multi-metodo e triangolazione dei dati.
La letteratura più recente segnala l'urgenza di strumenti specificamente progettati per rilevare gli apprendimenti legati alla RE, in grado di adattarsi a diversi profili cognitivi, stili di insegnamento e obiettivi pedagogici (Toh *et al.*, 2016; Agus *et al.,* 2025). Uno degli aspetti più trascurati nei processi valutativi è quello dell'autoefficacia percepita degli studenti, intesa come la fiducia nelle proprie capacità di affrontare e portare a termine un compito con successo (Bandura, 1977). Nell'ambito della RE questa dimensione è cruciale: la percezione positiva di sé rispetto alla propria competenza tecnica e cognitiva si configura come un fattore predittivo significativo del successo formativo (Zimmerman, 2000; Ford *et al.*, 2023). Per rispondere a tale esigenza, è stata recentemente validata in lingua italiana RLSES, inizialmente sviluppata a Taiwan da Tsai e colleghi (2021) e successivamente adattata al contesto italiano (Agus *et al.*, 2025). La scala verrà presentata più dettagliatamente nel sesto capitolo del presente testo, al fine di poter creare le condizioni affinché possa essere fruita da tutti gli attori coinvolti nei processi educativi. Si tratta di uno strumento particolarmente utile per monitorare l'evoluzione delle competenze percepite in contesti formativi sulla RE, specialmente in progetti scolastici a lungo termine.

Un ulteriore ambito cruciale di valutazione riguarda il pensiero computazionale (*Computational Thinking* o CT), che rappresenta una delle competenze chiave promosse dalla RE. In linea con gli studi che evidenziano il ruolo della RE nello sviluppo del pensiero computazionale, risulta strategico valutare tale competenza nell'ambito delle attività di RE, al fine di verificare l'efficacia degli interventi didattici implementati. La letteratura scientifica, in tal senso, propone una varietà di strumenti per la valutazione del pensiero computazionale, classificabili in cinque principali categorie: questionari, test o compiti strutturati, osservazioni sistematiche, interviste e analisi dei prodotti (Babazadeh & Negrini, 2022). Tuttavia, l'assenza di una definizione univoca e condivisa di pensiero computazionale ha reso complessa l'elaborazione di strumenti standardizzati in grado di coglierne appieno tutte le dimensioni (Adams *et al.*, 2019). Due revisioni sistematiche della letteratura (Kakavas & Ugolini, 2019; Ugolini & Kakavas, 2020) hanno evidenziato come la maggior parte degli strumenti atti a valutare il pensiero computazionale, attualmente disponibili si focalizzino principalmente sui concetti (*concepts)* (es. sequenze, cicli, condizioni), trascurando invece le dimensioni più processuali e trasversali come le pratiche (*practices)* (*debugging*, progettazione iterativa) e le prospettive (*perspectives)* (collaborazione, creatività, risoluzione di problemi), secondo la classificazione proposta da Brennan & Resnick (2012).

Tra gli strumenti più utilizzati si segnalano:

- il CT Test di Román-González (2015), focalizzato sui CT *Concepts*, adattato anche nella versione semplificata CT Test *for Beginners* (Zapata-Cáceres *et al*., 2020);
- la *Computational Thinking Level Scale* (CTLS) di Korkmaz e colleghi (2015), che valuta le CT *Perspectives* attraverso auto-percezioni suddivise in cinque aree: creatività, pensiero algoritmico, collaborazione, pensiero critico e *problem solving*.

Ricerche recenti (Polat *et al*., 2021; Jin *et al*., 2021; Ma *et al*., 2021; Wang *et al*., 2020) confermano l'utilità di un approccio multi-strumentale, che combini misure quantitative e qualitative. Tale approccio consente di cogliere la complessità dello sviluppo del pensiero computazionale, integrando processi osservabili, disposizioni soggettive e prodotti realizzati durante le attività di RE.

In linea con quanto sostenuto da Grover (2015) e Román-González *et al*. (2019), nessuno strumento singolo è in grado di valutare in modo esaustivo tutte le componenti del CT, a conferma dell'importanza di sistemi valutativi integrati.
In questa prospettiva si colloca anche la riflessione sulla dimensione qualitativa della valutazione, che integra il dato oggettivo con l'osservazione dei processi e delle dinamiche relazionali attivate dalla RE. Secondo Bers (2021), la robotica, al pari del *coding*, non va intesa soltanto come attività cognitiva, ma anche come esperienza sociale ed espressiva, capace di promuovere l'identità e l'*engagement* degli studenti. La stessa studiosa (Bers, 2021) sottolinea, infatti, come la valutazione debba valorizzare non solo il prodotto finale, ma anche il processo, ponendo attenzione all'impegno creativo, alla riflessione, all'interazione tra pari. Di conseguenza, non è sufficiente limitarsi a strumenti standardizzati: occorre prevedere modalità di valutazione più aperte, capaci di valorizzare processi, atteggiamenti e pratiche collaborative. Su questa linea, si rafforza il valore degli strumenti qualitativi – come rubriche valutative, diari di apprendimento, e-portfolio digitali – da affiancare a test standardizzati, soprattutto nei contesti educativi orientati al lungo periodo e all'educazione personalizzata.

Accanto alla selezione degli strumenti (Tabella 6), un ulteriore elemento chiave è rappresentato dalle modalità valutative, che definiscono la prospettiva da cui il processo viene osservato e interpretato. Tali modalità possono essere diversificate in funzione degli attori coinvolti, degli obiettivi e delle strategie educative (Bonaiuti & Di Pace, 2021). L'eterovalutazione costituisce il modello più tradizionale, in cui l'insegnante osserva e valuta il sapere e il saper fare dello studente mediante prove strutturate, scritte o orali, a stimolo aperto o chiuso. Tuttavia, nelle attività di RE, che pongono al centro processi complessi e dinamici, questa modalità può risultare riduttiva se non integrata da pratiche riflessive e formative.

Tabella 6. Quadro comparativo degli strumenti per la valutazione di attività di RE e del pensiero computazionale

Strumento	Obiettivo valutativo	Target	Dimensioni misurate	Punti di forza	Limiti principali
RLSES (Robotics Learning Self-Efficacy Scale)	Valutare l'autoefficacia degli studenti nell'apprendimento della RE	Studenti. Scuola primaria e secondaria	Autoefficacia pratica (es. montaggio); Autoefficacia cognitiva/affettiva (comprensione, collaborazione)	Validato in lingua italiana; Alta coerenza interna (α = .90); focalizzato sul processo.	Non valuta il prodotto finale; non misura conoscenze oggettive.
CT Test (Román-González, 2015)*	Misurare le competenze logico-algoritmiche (CT Concepts)	Studenti. Scuola secondaria e versione "for beginners" scuola primaria.	Sequenze, cicli, condizioni, logica computazionale	Strumento standardizzato; buon uso in contesti comparativi	Focalizzato solo sui CT Concepts; poco adatto a pratiche laboratoriali
CTLS (Computational Thinking Level Scale)*	Rilevare le percezioni auto-riferite sulle competenze CT	Studenti. Scuola secondaria e università.	Creatività, pensiero algoritmico, collaborazione, pensiero critico, *problem solving* (CT Perspectives)	Facile da somministrare; valuta disposizioni cognitive e sociali	Non misura abilità "oggettive"; dipendente dalla percezione individuale
Portfolio / rubriche / diari di apprendimento	Valutare processi, riflessioni, progressi individuali	Studenti (tutti gli ordini di scuola)	Engagement, strategie, collaborazione, metacognizione	Approccio olistico; personalizzabile; utile per l'autovalutazione	Richiede tempo; valutazione meno standardizzata; difficile confronto tra studenti
Osservazioni strutturate / checklist docenti	Monitorare comportamenti e partecipazione durante attività di RE	Studenti (tutti gli ordini di scuola)	Partecipazione, collaborazione, risoluzione problemi	Buona per valutazione formativa e feedback immediato	Soggettività dell'osservatore; limitata comparabilità

*Legenda:
CT Concepts: Sequenze, cicli, condizioni, logica computazionale;
CT Practices: Debugging, iterazione, progettazione, testing;
CT Perspectives: Attitudini, collaborazione, creatività, riflessione.

In tale direzione, la autovalutazione assume un ruolo di rilievo, consentendo allo studente di monitorare in itinere il proprio percorso di apprendimento, identificare punti di forza e aree di miglioramento e attivare strategie metacognitive. L'uso di *checklist*, rubriche, diari di bordo o *dashboard* digitali rappresenta un valido supporto in tal senso, promuovendo consapevolezza e responsabilità nei confronti del proprio apprendimento.

A completare il quadro si inserisce la valutazione tra pari, che incoraggia il confronto tra studenti, favorendo il pensiero critico e la condivisione di criteri valutativi comuni. Strumenti come la peer review o rubriche condivise offrono opportunità concrete per costruire una cultura valutativa partecipata, in linea con le logiche della didattica laboratoriale e cooperativa tipiche della RE.

Infine, la co-valutazione, basata sul confronto tra giudizio docente e percezione dello studente, valorizza la dimensione dialogica e formativa della valutazione. Attraverso la condivisione di

griglie di indicatori e il confronto tra attribuzioni di valore, si crea un processo di negoziazione del significato che stimola la riflessione e rafforza la motivazione. In contesti di RE, questa modalità si presta particolarmente bene alla valutazione di progetti complessi e interdisciplinari, nei quali è importante riconoscere e discutere i molteplici livelli dell'esperienza formativa vissuta dagli studenti.

Questa pluralità di approcci trova piena coerenza con l'impianto del modello ERIM (Negrini *et al.*, 2025a), che valorizza la valutazione come dimensione trasversale e strategica dell'integrazione della RE a scuola. La combinazione di queste diverse pratiche valutative consente di restituire una rappresentazione più autentica e plurale degli apprendimenti. In particolare, la coesistenza di valutazione docente (eterovalutazione), riflessione individuale (autovalutazione), confronto tra pari (*peer assessment*) e negoziazione del significato (co-valutazione) si configura come una strategia sinergica, in grado di potenziare l'efficacia formativa e la personalizzazione dell'insegnamento.

Un ulteriore contributo alla valutazione delle competenze attivate dalla RE in tal senso è rappresentato dalle schede di osservazione strutturata, progettate per monitorare in modo sistematico differenti competenze. A titolo esemplificativo, di seguito si riporta due schede di monitoraggio: la prima dello sviluppo delle FE (Tabella 7) e la seconda delle competenze trasversali (Tabella 8) durante le attività di RE.

Tabella 7. Scheda di osservazione e monitoraggio del funzionamento educativo nelle attività di RE

Funzione Esecutiva	Indicatore	1	2	3	4
Controllo inibitorio	Si frena prima di agire impulsivamente				
	Rispetta le regole del compito				
Attenzione Sostenuta	Rimane concentrato per tutta l'attività				
	Si distrae poco con stimoli esterni				
Pianificazione	Definisce i passaggi prima di iniziare				
	Prevede le azioni necessarie al risultato				
Organizzazione	Dispone materiali in modo funzionale				
	Organizza i comandi senza confusione				
Flessibilità Cognitiva	Cambia strategia dopo un errore				
	Accetta suggerimenti e si adatta				
Memoria di Lavoro	Ricorda istruzioni e applica conoscenze pregresse				
	Tiene traccia mentale dei passaggi svolti				
Monitoraggio Metacognitivo	Riconosce errori e propone correzioni				
	Verifica la correttezza del codice prima dell'esecuzione				
Gestione del Tempo	Termina il compito nei tempi previsti				
	Regola il tempo nei diversi momenti dell'attività				

Legenda:
1=Assente: non mostra il comportamento;
2=Parziale: mostra il comportamento solo con un supporto in modo incostante;
3=Adeguato: mostra il comportamento in modo autonomo ma migliorabile;
4=Avanzato: mostra il comportamento in modo sistematico, strategico e autonomo.

Questi strumenti, costruiti secondo un modello a quattro livelli di *performance*, si rivelano particolarmente utili in contesti laboratoriali, in cui il processo di apprendimento è spesso non lineare e soggetto a variazioni significative da parte degli studenti. Le schede osservative permettono ai docenti di raccogliere evidenze osservabili in tempo reale, offrendo una base per

valutazioni formative e favorendo una riflessione continua sulle strategie educative adottate. La loro struttura consente, inoltre, di adattare facilmente gli strumenti a differenti gradi scolastici e livelli di competenza, rendendoli strumenti flessibili e scalabili per una pluralità di contesti.

Tabella 8. Scheda di osservazione e monitoraggio dello sviluppo delle competenze trasversali nelle attività di RE

Competenza	Indicatore	1	2	3	4
Strategie di Apprendimento	Elabora percorsi coerenti				
	Applica strategie funzionali al compito				
	Spiega le scelte effettuate				
Collaborazione	Partecipa al lavoro di gruppo				
	Accoglie e valorizza le idee altrui				
	Si assume responsabilità nei ruoli assegnati				
Pensiero Riflessivo	Riflette sugli errori e li verbalizza				
	Riconosce strategie efficaci e meno efficaci				
	Dimostra miglioramento dopo l'errore				
Pensiero Creativo	Propone soluzioni originali				
	Reinventa o estende il compito con iniziativa				
	Collega esperienze passate a nuovi problemi				
Comunicazione	Spiega in modo chiaro le strategie e i comandi				
	Utilizza lessico specifico della robotica				
	Comunica in modo efficace nel gruppo				
Problem Solving	Affronta ostacoli in autonomia				
	Modifica il codice in base agli errori				
	Trova alternative se la strategia iniziale fallisce				
Legenda: 1=Assente: non mostra il comportamento; 2=Parziale: mostra il comportamento solo con un supporto in modo incostante; 3=Adeguato: mostra il comportamento in modo autonomo ma migliorabile; 4=Avanzato: mostra il comportamento in modo sistematico, strategico e autonomo.					

Nello specifico:

- la scheda per il monitoraggio delle FE consente di rilevare indicatori quali il controllo inibitorio, l'attenzione sostenuta, la pianificazione e la flessibilità cognitiva, tutte competenze chiave per l'autoregolazione e l'apprendimento attivo (Diamond, 2013);
- la scheda per il monitoraggio delle competenze trasversali si focalizza su dimensioni quali la collaborazione, il pensiero riflessivo, la creatività e la capacità di *problem solving*, in linea con i *framework* internazionali sulle competenze per il XXI secolo.

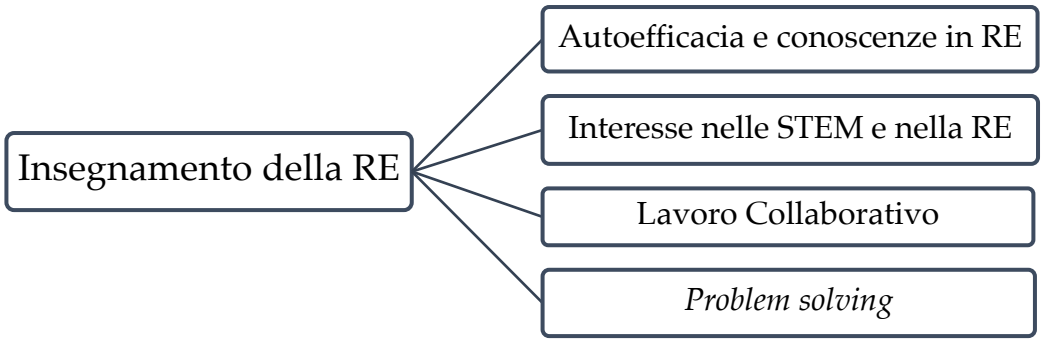
L'uso sistematico di queste schede da parte degli insegnanti consente non solo di tracciare i progressi individuali degli studenti, ma anche di adattare in modo più consapevole la progettazione didattica alle reali esigenze della classe. Inoltre, l'attribuzione di un livello prestazionale a ciascun indicatore favorisce una valutazione orientata alla crescita, coerente con una visione formativa della valutazione.

In contesti educativi in cui si intenda promuovere l'equità e la personalizzazione dell'apprendimento, questi strumenti osservativi possono essere integrati con rubriche narrative, portfolio e diari di bordo, favorendo una triangolazione dei dati utile sia per la documentazione dei processi educativi, sia per l'autovalutazione degli studenti. Essi rappresentano, in tal senso, un ponte tra la valutazione standardizzata e quella situata, contribuendo a una più profonda comprensione degli apprendimenti generati dalle attività robotiche.
Alla luce di queste considerazioni, le schede proposte si configurano come strumenti operativi di immediata applicabilità, capaci di restituire la complessità dell'esperienza educativa e di sostenere l'insegnante nel suo duplice ruolo di facilitatore e osservatore del processo formativo. In conclusione, la valutazione della RE rappresenta un ambito ancora in fase di sviluppo, in cui la disponibilità di strumenti standardizzati è limitata e spesso parziale. Tuttavia, i recenti progressi nella validazione di strumenti come la RLSES e il RIQ di cui parleremo nel prossimo paragrafo, nonché l'uso integrato di metodologie qualitative e quantitative, rappresentano passi significativi verso una valutazione più accurata, formativa e multidimensionale.

3.2.3.1 Il questionario RIQ: costrutti e uso

Parallelamente all'attenzione rivolta agli studenti argomentata nel paragrafo precedente, è altrettanto necessario considerare la prospettiva dei docenti, poiché il loro ruolo si rivela determinante per l'efficacia delle esperienze di RE. In questa direzione è fondamentale disporre di strumenti dedicati ai docenti come il RIQ, un questionario che, come vedremo, si è rivelato molto promettente. Originariamente validato in Portogallo (Dorotea *et al.*, 2021) e successivamente adattato al contesto italiano (Agus *et al.*, 2023; Marras *et al.*, 2024b), il RIQ è stato progettato per essere utilizzato prima e dopo percorsi formativi. La struttura psicometrica dello strumento si articola in quattro fattori principali, che possono essere considerati leve strategiche per il successo della RE nelle scuole. Questi quattro fattori (Figura 12) definiscono un quadro teorico coerente, che permette di comprendere meglio le variabili individuali e ambientali coinvolte nel processo di adozione della RE e offre, al tempo stesso, strumenti pratici per orientare le scelte formative e le politiche scolastiche.

Figura 12. I fattori implicati nell'insegnamento della RE a scuola (Marras *et al.*, 2024b)



Autoefficacia e conoscenze in RE. La prima dimensione esplorata riguarda l'autoefficacia e le conoscenze specifiche legate alla RE, fattori decisivi per comprendere la propensione degli insegnanti a integrare l'innovazione tecnologica nella pratica didattica. In ambito educativo, l'autoefficacia è un costrutto chiave per spiegare sia le scelte didattiche degli insegnanti sia la loro disponibilità ad adottare pratiche innovative. Bandura (1994) la definisce come la convinzione dell'individuo di poter organizzare e portare a termine con successo un compito specifico. È una variabile dinamica, modellata dalle esperienze pregresse, dall'osservazione di pari competenti, dai *feedback* ricevuti e dal contesto di riferimento. Numerosi studi internazionali (Tschannen-Moran & Hoy, 2001, 2007; Zee & Koomen, 2016) hanno evidenziato come alti livelli di autoefficacia docente siano associati a una didattica di maggiore qualità, a strategie didattiche più efficaci, a una migliore gestione del gruppo classe e a risultati scolastici più elevati. Una forte percezione di autoefficacia favorisce l'apertura al cambiamento e l'apprendimento permanente, riducendo al contempo il rischio di *burnout* professionale. Nel contesto della RE, la percezione di autoefficacia si intreccia strettamente con il possesso di conoscenze tecniche e pedagogiche adeguate. L'introduzione di tecnologie digitali in aula, infatti, implica non solo competenze operative, ma anche la capacità di progettare scenari didattici significativi, orientati allo sviluppo del pensiero computazionale, dell'interdisciplinarità e delle competenze trasversali, elementi centrali della didattica contemporanea. La letteratura evidenzia che l'autoefficacia si rafforza in ambienti professionali cooperativi, soprattutto nei primi anni di carriera, quando il supporto dei pari e l'accesso a risorse formative risultano decisivi (Tschannen-Moran & Hoy, 2007; Collie *et al*., 2012; Pas *et al*., 2012; Mannila *et al*., 2018). Nel quadro della RE, percorsi di formazione attiva e laboratoriale si rivelano fondamentali per incrementare il senso di autoefficacia degli insegnanti. Alcuni studi (Jaipal-Jamani & Angeli, 2017) mostrano come l'esperienza diretta, l'osservazione di modelli didattici virtuosi e il *feedback* costruttivo siano fattori chiave per potenziare la fiducia dei docenti nell'utilizzo della robotica in aula. In particolare, le esperienze formative che integrano aspetti teorici e pratici consentono agli insegnanti di superare la paura dell'errore e di acquisire maggiore sicurezza nella gestione di attività tecnologicamente complesse.

Tuttavia, persiste una discontinuità tra l'interesse per la RE e la sua effettiva applicazione, spesso legata alla carenza di formazione specifica (Giannandrea *et al*., 2021). Tale gap evidenzia l'importanza di rilevare precocemente i livelli di autoefficacia dei docenti – anche in fase di formazione iniziale – per progettare interventi formativi mirati, in grado di sostenere l'implementazione consapevole della RE nei diversi ordini scolastici. Da questo punto di vista, il RIQ si configura come uno strumento diagnostico strategico: consente di mappare il livello di fiducia degli insegnanti nelle proprie capacità di insegnare la RE, di individuare aree di fragilità e di monitorare i progressi lungo percorsi di formazione. L'impiego sistematico di questo strumento permette di personalizzare l'offerta formativa, promuovere percorsi di crescita professionale sostenibili e, in ultima analisi, migliorare la qualità dell'insegnamento e degli apprendimenti. In buona sostanza, potenziare l'autoefficacia dei docenti nella RE significa promuovere un approccio metodologico più aperto, critico e riflessivo, capace di generare ambienti di apprendimento stimolanti, inclusivi e tecnologicamente consapevoli.

Interesse nelle aree STEM e nella RE. La seconda dimensione esplorata riguarda l'interesse dei docenti verso la RE e, più in generale, verso le discipline STEM (Scienze, Tecnologia, Ingegneria e Matematica), un aspetto nevralgico per comprendere l'integrazione delle tecnologie in classe. Tale dimensione è centrale: studi hanno dimostrato che l'interesse verso un ambito disciplinare è un forte predittore della qualità dell'insegnamento e dell'efficacia didattica (Hattie, 2012; 2023; Shulman, 1987). L'integrazione della RE nei contesti scolastici si configura dunque come un'opportunità educativa ad alto potenziale, sia per i docenti sia per gli studenti. Da un lato, essa è in grado, come abbiamo visto, di promuovere il pensiero computazionale inteso come competenza trasversale per affrontare problemi attraverso processi logici, algoritmici e creativi (Harel & Papert, 1991; Mikropoulos & Bellou, 2013). Dall'altro, stimola l'interesse degli studenti verso l'apprendimento scientifico e tecnologico. Ciò favorisce la costruzione di atteggiamenti positivi verso le carriere in ambito STEM (Benitti, 2012; Ching *et al*., 2019; Nugent *et al*., 2009; Sullivan, 2008; Toh *et al*., 2016). Il robot, in quanto artefatto didattico interdisciplinare, assume la funzione di *oggetto epistemico* (Papert, 1980), in grado di stimolare l'astrazione, la manipolazione e la riflessione. La sua valenza educativa non si limita alle discipline tecniche, ma si estende all'acquisizione delle cosiddette competenze chiave del XXI secolo, come il pensiero critico, la risoluzione di problemi e la collaborazione (Alimisis, 2013; Johnson, 2003; Hong *et al*., 2011). Numerose rassegne sistematiche e metanalisi (Benitti, 2012; Kyriazopoulos *et al*., 2021; Bonaiuti *et al*., 2022a) hanno consolidato l'impianto teorico e metodologico della RE, evidenziandone la rilevanza in una pluralità di contesti educativi, dalla scuola dell'infanzia all'istruzione superiore. È significativo il fatto che l'interesse dei docenti verso la RE sia correlato positivamente con la probabilità di integrare la robotica nei curricoli, costituendo una leva per l'adozione di metodologie didattiche innovative (Papadakis *et al*., 2021). Oltre all'impatto cognitivo, la RE è apprezzata per la sua capacità di promuovere dinamiche inclusive, collaborative e motivanti. L'approccio laboratoriale e la dimensione ludica delle attività robotiche favoriscono l'*engagement* degli studenti, incentivano l'autonomia e incoraggiano la costruzione attiva del sapere. È stata inoltre evidenziata la valenza della RE nella promozione delle *soft skills* (Mitnik *et al*., 2008; Nourbakhsh *et al*., 2005; Jung & Won, 2018), nonché nel contrastare stereotipi di genere, stimolando la partecipazione delle studentesse alle discipline tecnico-scientifiche (Sullivan & Bers, 2019; Daniela & Lytras, 2019). Dal punto di vista formativo, l'interesse verso le STEM e la RE rappresenta una risorsa fondamentale per la costruzione e il rafforzamento dell'identità professionale degli insegnanti. Come sottolineato da Giannandrea e colleghi (2021), i percorsi di formazione – iniziale e in servizio – svolgono un ruolo chiave nel rafforzare la motivazione, la riflessività e la consapevolezza pedagogica dei docenti. La letteratura suggerisce che l'esperienza personale con la RE, vissuta in un contesto formativo strutturato, sia in grado di aumentare l'interesse verso le tecnologie educative e, contestualmente, di promuovere atteggiamenti favorevoli alla sperimentazione (Jaipal-Jamani & Angeli, 2017). Infine, occorre sottolineare che la percezione di rilevanza e utilità delle attività di RE da parte degli insegnanti rappresenta una variabile decisiva per tradurre l'interesse in pratiche didattiche effettive. Le credenze degli insegnanti, infatti, possono agire sia come facilitatori che come ostacoli all'innovazione didattica (Hew & Brush, 2007; Lawson & Comber, 1999). Per questo motivo, è essenziale indagare e monitorare l'interesse verso la RE non come fattore accessorio, ma come componente costitutiva della professionalità docente in chiave digitale.

Lavoro collaborativo. La terza dimensione indagata riguarda la predisposizione degli insegnanti alla collaborazione professionale, un fattore cruciale per il successo delle pratiche didattiche innovative, inclusa la RE. Sebbene la costruzione di una cultura collaborativa richieda tempo, impegno e condizioni organizzative favorevoli, numerose ricerche confermano che il lavoro tra pari rappresenta una leva strategica per lo sviluppo professionale dei docenti e per il miglioramento complessivo della qualità dell'insegnamento. In una sistematica rassegna di studi sul tema, Vangrieken e colleghi (2015) individuano tre livelli principali di beneficio derivanti dalla collaborazione tra insegnanti: individuale, istituzionale e studentesco. A livello individuale, i docenti coinvolti in pratiche collaborative riferiscono un aumento della motivazione, un miglioramento delle competenze tecnologiche, una percezione ridotta del carico di lavoro, una maggiore soddisfazione professionale e una diminuzione del senso di isolamento. A livello istituzionale, la collaborazione favorisce l'emergere di una cultura scolastica orientata all'innovazione, alla condivisione e alla partecipazione. Per gli studenti, la coerenza pedagogica e l'adozione di strategie didattiche condivise si traducono in un miglioramento degli apprendimenti. Tali evidenze sono confermate anche dall'indagine internazionale TALIS 2013 dell'OCSE (OECD, 2014), che identifica nella collaborazione uno dei principali fattori predittivi del benessere lavorativo dei docenti. Relazioni professionali basate sulla fiducia, sulla comunicazione efficace e sulla condivisione di una visione pedagogica comune contribuiscono alla costruzione di un ambiente scolastico coeso e resiliente (García-Martínez *et al.*, 2021). Lavorare in *team*, inoltre, incide positivamente sul senso di autoefficacia individuale. Secondo Hattie (2015; 2023), i docenti che collaborano in modo sistematico tendono a rafforzare le proprie competenze e a sviluppare una maggiore fiducia nelle proprie capacità didattiche. In linea con la teoria socio-cognitiva di Bandura (1997), il concetto di efficacia collettiva, cioè la convinzione condivisa da un gruppo di poter raggiungere obiettivi comuni, assume particolare rilevanza a scuola. Come affermano Klassen e colleghi (2011), tale convinzione può agire da fattore protettivo rispetto a situazioni professionali stressanti, potenziando le risorse individuali attraverso il sostegno del gruppo. Il valore strategico della collaborazione appare ancora più evidente nei contesti di insegnamento delle discipline STEM, dove l'adozione di approcci interdisciplinari e l'integrazione della RE richiedono spesso la co-progettazione e il confronto tra pari. In questo ambito, Fulton e colleghi (2010) sottolineano l'importanza del lavoro in *team* per favorire la sperimentazione condivisa di nuove metodologie didattiche, lo scambio di buone pratiche e l'adozione di strategie centrate sugli studenti. In linea con tali evidenze, il RIQ include la collaborazione tra le dimensioni fondamentali per comprendere e potenziare l'efficacia dell'insegnamento della RE. Monitorare e valorizzare le pratiche collaborative consente non solo di rafforzare la professionalità docente, ma anche di costruire un contesto scolastico più coeso, riflessivo e aperto all'innovazione. La creazione di comunità di pratica tra insegnanti, sostenute da reti professionali, rappresenta un elemento chiave per la diffusione della RE nelle scuole italiane. In tali contesti, la robotica non è solo contenuto, ma anche catalizzatore per ripensare l'intera azione educativa in chiave cooperativa, riflessiva e trasformativa.

Problem solving. La quarta dimensione si concentra sulle competenze di *problem solving*, strettamente connesse allo sviluppo del pensiero computazionale. Il *problem solving* rappresenta

una leva pedagogica essenziale per migliorare i processi di apprendimento degli studenti (Hattie, 2015). La RE costituisce uno strumento privilegiato in questa direzione. Le attività di RE offrono agli studenti l'opportunità concreta di programmare e controllare le azioni di un robot al fine di affrontare e risolvere situazioni problematiche, attivando così modalità cognitive complesse e funzionali alla costruzione di conoscenze. Il pensiero computazionale implica la capacità di affrontare problemi reali attraverso un ragionamento logico, algoritmico e sequenziale. Esso si manifesta attraverso l'utilizzo di strategie quali l'astrazione, la decomposizione, la formulazione di algoritmi, la generalizzazione e la valutazione delle soluzioni (CSTA & ISTE, 2011; Selby & Woollard, 2013; Hoppe & Werneburg, 2019). In tale prospettiva, le esperienze laboratoriali con i robot consentono agli studenti di familiarizzare con questi processi cognitivi, in un contesto di apprendimento attivo e costruttivo. Il RIQ assume che i docenti dotati di buone competenze di *problem solving* siano maggiormente in grado di progettare percorsi didattici efficaci e innovativi, integrando contenuti interdisciplinari e svolgendo il ruolo di facilitatori nei processi di apprendimento. I valori normativi pubblicati recentemente (Marras *et al.*, 2024b) mostrano una correlazione significativa tra i punteggi ottenuti in questa dimensione e le esperienze pregresse di RE. Ciò conferma la validità del RIQ nel valutare la preparazione degli insegnanti ad affrontare contesti tecnologicamente complessi e sfidanti. Le implicazioni pedagogiche documentate in letteratura sul *problem solving* e il pensiero computazionale sono già state trattate e argomentante nel primo capitolo.

In sintesi, lo strumento consente, attraverso queste quattro dimensioni, di individuare i profili motivazionali dei docenti e di valutare l'impatto della formazione sul loro orientamento pedagogico. Tali strumenti offrono un importante supporto non solo per monitorare gli apprendimenti e l'impatto della formazione docente ma anche per promuovere una cultura della valutazione orientata all'innovazione e alla riflessività pedagogica. In conclusione, il RIQ offre una lettura articolata dei profili docenti e dell'impatto formativo. Il quinto capitolo ne documenta l'impiego empirico e ne fornisce istruzioni operative (somministrazione, dati, interpretazione) e implicazioni per la sua adozione.

3.3 Percezioni e atteggiamenti degli attori

Le convinzioni, le idee e le attitudini personali possono influenzare in modo significativo l'accettazione, l'usabilità e la percezione dell'utilità delle tecnologie digitali in ambito educativo. Prima di approfondire le implicazioni pedagogiche di questi fattori, è utile chiarire cosa si intenda per attitudine, convinzione e atteggiamento.

L'attitudine può essere definita come una predisposizione individuale che, pur non determinando direttamente l'apprendimento, può favorirlo, influenzandone aspetti come la rapidità del processo o i livelli di competenza raggiungibili, specialmente in specifiche situazioni didattiche (Snow, 1992). Il ruolo dell'attitudine assume particolare rilevanza dal punto di vista pedagogico, poiché riflette punti di forza e fragilità personali che possono incidere in modo positivo o negativo sull'apprendimento. In questo senso, le attitudini si configurano come percezioni soggettive che studenti, insegnanti o genitori costruiscono nel tempo. Esse sono alimentate, da un lato, dalle convinzioni, intese come rappresentazioni cognitive e,

dall'altro, dagli atteggiamenti, che coinvolgono la sfera emotiva e influenzano profondamente l'attribuzione di valore alle esperienze, determinando intenzioni, opinioni e comportamenti.

L'atteggiamento può essere considerato una variabile legata alle differenze individuali: è una credenza personale nei confronti di un oggetto o di un'esperienza (Fishbein & Ajzen, 1975), e comprende componenti cognitive, emotive e comportamentali, incidendo direttamente sui livelli motivazionali e potenzialmente sul successo scolastico (Myers, 1993). Tuttavia, non sempre l'atteggiamento di un individuo riflette fedelmente le sue convinzioni profonde (Bertolini, 1996). Esso rappresenta piuttosto una visione del mondo espressa attraverso l'azione, mai neutra sul piano affettivo, che orienta intenzioni e scelte. Secondo Wenden (1991), l'atteggiamento si articola in tre componenti:

1. *cognitiva*, che riguarda le informazioni, le percezioni e le conoscenze legate all'oggetto dell'atteggiamento;
2. *valutativa*, legata alle emozioni suscitate dall'oggetto;
3. *comportamentale*, ovvero il modo in cui si agisce rispetto all'oggetto stesso.

Trasferendo queste dimensioni al contesto della RE, diventa evidente come attitudini e atteggiamenti possano condizionare non solo l'accettazione della tecnologia, ma anche la qualità delle pratiche didattiche che la integrano. Quanto detto sottolinea l'importanza di esplorare tali dimensioni, sia in generale nel contesto scolastico, sia in relazione specifica alla RE. È infatti fondamentale comprendere le percezioni di tutti gli attori coinvolti nell'educazione degli studenti, per acquisire consapevolezza circa le potenzialità e i limiti di questo approccio innovativo. Il dialogo e il confronto su questi temi permettono a studenti, insegnanti, genitori e caregiver di partecipare attivamente a un possibile cambiamento nei paradigmi educativi e nelle pratiche didattiche.
Poiché convinzioni e atteggiamenti costituiscono dimensioni implicite e difficilmente quantificabili, è necessario indagarle con strumenti qualitativi come l'osservazione, la verbalizzazione orale o scritta, in presenza o in modalità digitale. Ogni figura educativa, in base alle proprie credenze e attitudini, può facilitare oppure ostacolare l'integrazione della RE nei percorsi di apprendimento formali e informali. Per questi motivi, risulta auspicabile esplorare le percezioni e le convinzioni delle diverse parti coinvolte, poiché si tratta di variabili soggette a cambiamento: comprenderle può offrire opportunità concrete per generare percorsi trasformativi su più livelli.

Per quanto riguarda in particolare la cultura dell'apprendimento, è ampiamente riconosciuto che convinzioni e atteggiamenti condivisi tra insegnanti e studenti possano facilitare il processo educativo, promuovendo l'adozione comune di obiettivi, strategie didattiche e criteri di valutazione. Inoltre, quando il docente esplicita chiaramente le proprie idee e finalità, contribuisce a creare un clima di trasparenza e corresponsabilità che rappresenta un presupposto fondamentale per l'efficacia dell'insegnamento. La conoscenza delle convinzioni educative dei docenti risulta cruciale anche per i ricercatori, che – indagando tali fattori tra insegnanti e studenti coinvolti attivamente nei percorsi educativi – possono avanzare ipotesi significative sulle criticità connesse all'implementazione della RE nei contesti scolastici.

Tra gli attori coinvolti, i docenti rivestono un ruolo cruciale: dalle loro convinzioni dipende non solo la progettazione delle attività, ma anche la percezione di utilità e significato attribuita alla RE dagli studenti. Dal momento che ideazione, progettazione didattica e valutazione delle attività fanno capo principalmente al ruolo degli insegnanti, è necessario considerare le loro esigenze e le sfide legate all'evoluzione tecnologica e digitale in continua espansione. In tal senso, lo studio delle credenze e delle rappresentazioni del corpo docente può essere considerato un prerequisito strategico per il successo formativo sia degli alunni che degli stessi insegnanti. Tuttavia, la formazione universitaria e/o iniziale, che discuteremo nei prossimi paragrafi, non sempre risponde adeguatamente alle esigenze educative emergenti in materia di RE. Di conseguenza, è fondamentale riflettere su come la formazione in servizio – o formazione continua – possa essere integrata nei sistemi scolastici in un'ottica di ampia diffusione, definendone le caratteristiche in termini di efficacia, sostenibilità e rilevanza pedagogica.
Per una visione più completa, è opportuno analizzare anche il ruolo attribuito alla RE nell'ambito della formazione universitaria, in particolare nei corsi e nei laboratori di tecnologie educative, sia in Italia che in contesti internazionali. Se la formazione in servizio appare fondamentale per modificare credenze e atteggiamenti consolidati, altrettanto rilevante è interrogarsi su come la formazione iniziale, a livello universitario, prepari i futuri insegnanti ad affrontare le sfide della RE. Tali indagini consentirebbero di verificare se e in che misura l'università abbia recepito un cambiamento di paradigma che riconosce nella RE una delle tecnologie educative più promettenti del XXI secolo. In questa direzione, si potrà comprendere se gli obiettivi della formazione continua favoriscano l'emergere di nuove identità professionali, connotate da un'elevata padronanza delle competenze digitali e tecnologiche. In tal modo, gli insegnanti in servizio saranno più predisposti ad adottare tecnologie educative innovative – tra cui la RE – considerandole coerenti con la loro visione dell'educazione nel nuovo millennio.

3.3.1 Studenti

L'esperienza diretta di numerosi insegnanti, corroborata dalla ricerca educativa, converge su un punto: gli atteggiamenti degli studenti verso l'apprendimento giocano un ruolo determinante nel plasmare partecipazione, perseveranza e scelte formative. Questo vale in modo particolarmente evidente per l'area STEM, dove si concentra gran parte delle indagini empiriche sull'attitudine degli studenti e sulle loro percezioni rispetto all'uso di tecnologie e, in particolare, dei robot in contesto scolastico. Conoscere tali atteggiamenti è cruciale perché condiziona, nel medio-lungo periodo, l'orientamento verso percorsi formativi e professionali affini (Bonvillian, 2002).
In questo quadro, RE è stata spesso proposta come leva per sostenere interesse e coinvolgimento nelle discipline STEM. Tuttavia, l'efficacia dell'introduzione del robot non è automatica né uniforme: dipende da variabili individuali (ad esempio il genere), scolastiche (come il grado di istruzione) e progettuali (ad esempio la durata e la qualità delle esperienze). Inoltre, la letteratura documenta un calo dell'interesse per le STEM con l'avanzare dell'età degli studenti (DeWitt *et al.*, 2013), elemento che rafforza l'argomento a favore di un'esposizione precoce alla RE anche in ottica di equità e riduzione dei divari, in particolare quello di genere (Weinberg *et al.*, 2007).

Le evidenze sono, in parte, convergenti: molte ricerche riportano associazioni tra esperienze di RE e rafforzamento degli atteggiamenti positivi verso le STEM, maggior interesse e incremento della fiducia nelle proprie capacità (Naizer *et al.*, 2014; Nugent *et al.*, 2009; Theodoropoulos *et al.*, 2017; Welch, 2010). Tuttavia, non mancano risultati contrastanti: alcune ricerche, come quella di Negrini e Giang (2019) o di Zhang e colleghi (2021), segnalano un impatto contenuto o marginale della robotica sugli atteggiamenti verso le STEM. Nel complesso, il quadro è quindi non univoco: la RE può produrre esiti positivi, ma la loro entità sembra dipendere da specifiche condizioni e variabili contestuali (genere ed età), dalle scelte didattiche (tipologia di attività e strategie utilizzate) e da fattori implementativi (durata e continuità delle esperienze). Un'illustrazione puntuale di questa complessità proviene dallo studio di Negrini e Giang (2019), che ha analizzato il valore pedagogico della RE in contesto scolastico attraverso un laboratorio di un semestre con il robot *Thymio II*. I risultati segnalano un generale interesse da parte degli studenti e una percezione positiva rispetto al contributo della RE nello sviluppo delle competenze del XXI secolo. Tuttavia, i miglioramenti più significativi sono stati rilevati nelle *soft skills* (creatività e collaborazione) più che nelle competenze tecniche legate alla programmazione e al pensiero computazionale. Inoltre, l'analisi delle differenze di genere ha evidenziato che i maschi percepivano un incremento più marcato nelle competenze tecniche. Ulteriori studi confermano l'efficacia della RE sia nello sviluppo delle *soft skills* sia delle cosiddette *hard skills*, in particolare nella capacità di risolvere problemi complessi (Rubinacci *et al.*, 2017). In modo analogo, Wong e Cheung (2020) hanno rilevato, al termine di un corso di programmazione per bambini, una percezione positiva dell'impatto della RE sullo sviluppo delle competenze di apprendimento. Nel loro complesso, questi risultati suggeriscono che la RE agisca su più livelli – tecnico-disciplinare e socio-cognitivo – rafforzando la motivazione, la collaborazione, la creatività e la capacità di affrontare problemi complessi.

Nell'ambito del contesto universitario, si è esaminato l'effetto della RE con *Arduino* sulla percezione di autoefficacia e sugli atteggiamenti degli studenti verso la programmazione (Erol, 2020). I risultati hanno mostrato un netto miglioramento in entrambi gli ambiti, attribuito dagli studenti stessi alla componente pratica e coinvolgente delle attività svolte.

Considerando il *continuum* di tali esperienze dalla scuola primaria all'università, emerge un principio trasversale: la dimensione laboratoriale e di "apprendere facendo" supporta atteggiamenti più positivi verso la programmazione e la fiducia degli studenti nelle proprie competenze, migliorando la loro motivazione verso la programmazione (Álvarez & Larrañaga, 2016; Erol, 2020; Korkmaz, 2016; Liu *et al.*, 2013; Major *et al.*, 2012).

Sul piano motivazionale la letteratura ha evidenziato come l'atteggiamento degli studenti nei confronti dei dispositivi robotici sia generalmente positivo, risultando in alcuni casi più rilevante, sul piano statistico, rispetto ai risultati ottenuti nelle valutazioni o nelle prove di abilità e competenza svolte a seguito delle attività didattiche (Chin *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2023). Un esempio significativo proviene da esperienze legate a competizioni di robotica, in cui, in un'ottica di "apprendimento rovesciato", gli studenti sono stati coinvolti nella formulazione di domande rivolte ai ricercatori in merito alla RE e ai robot educativi. L'analisi dei quesiti ha messo in luce l'interesse degli studenti per una vasta gamma di aspetti, tra cui le caratteristiche morfologiche dei robot, la loro usabilità, le potenzialità interattive, nonché le modalità di programmazione. Tali domande rivelano un coinvolgimento attivo e una curiosità autentica nei

confronti della RE, in particolare per quanto riguarda le discipline STEM, l'educazione computazionale e lo sviluppo delle *soft skills*. I risultati di questa indagine hanno fornito importanti spunti per orientare la progettazione didattica e favorire una più efficace integrazione della robotica nei curricoli scolastici (Christoforou *et al.*, 2022). Se tali ricerche mettono in evidenza soprattutto atteggiamenti e motivazioni legati alle discipline STEM e alle competenze trasversali, un ulteriore filone indaga invece l'immaginario infantile e le rappresentazioni che i bambini costruiscono dei robot. Non mancano tuttavia segnali di riflessione critica: soprattutto tra gli studenti più grandi emergono considerazioni di tipo etico e sociale legate all'uso dei robot. Interessante, in tal senso, è l'atteggiamento del sottogruppo più maturo degli studenti coinvolti, che, oltre agli aspetti tecnici, ha espresso preoccupazioni etiche in merito all'uso estensivo dei robot, mostrando una sensibilità verso i temi della roboetica e della responsabilità sociale (Christoforou & Müller, 2016; Salvini, 2019; Veruggio & Operto, 2008).
Tali studi hanno indagato come gli studenti rappresentino i robot e quali significati attribuiscano loro. In generale, la letteratura mostra come i bambini tendano ad attribuire ai robot sociali qualità mentali ed emotive, arrivando a riconoscere loro una certa intenzionalità e una capacità di giudizio etico (Kahn *et al.*, 2012; Van Duuren & Scaife, 1996). Fernández-Llamas e colleghi (2018) osservano che i bambini più piccoli, avendo maggiore familiarità con i robot, sono più propensi ad attribuire loro capacità di pensiero, tendenza che si mantiene anche dopo esperienze di progettazione e programmazione (Turkle *et al.*, 2006). Tuttavia, quando le aspettative di interazione – ad esempio quelle di tipo docente-studente – non vengono soddisfatte, i bambini possono interrompere l'interazione con il robot (Serholt, 2018). Ciò evidenzia l'importanza di una progettazione didattica accurata, soprattutto nei gradi scolastici inferiori, che definisca obiettivi e traguardi formativi con chiarezza, tenendo conto dei pregiudizi e delle aspettative nei confronti delle tecnologie basate sull'IA (Williams *et al.*, 2019).
Le ricerche sull'immaginario infantile (Bruni & Nisdeo, 2017; Wang *et al.*, 2022) indicano una prevalente visione antropomorfica e umanizzata dei robot. Williams e colleghi (2019) mostrano, ad esempio, che i bambini più piccoli percepivano i robot come giocattoli più intelligenti di loro, mentre quelli più grandi li descrivevano come esseri simili alle persone ma meno intelligenti. Inoltre, è emerso che i bambini con valutazioni più basse in compiti legati all'IA tendevano a considerare i robot come oggetti meno intelligenti, mentre quelli con *performance* migliori li percepivano come più competenti. Uno studio precedente condotto da Liu (2010) mostra come, nella scuola primaria, la maggior parte dei bambini identificasse i robot come giocattoli, ma una parte significativa li considerava "una porta verso l'alta tecnologia".
L'esperienza diretta con i robot modula, inoltre, la comprensione del loro comportamento: quando i dispositivi eseguivano azioni semplici, i bambini tendevano a descriverli in termini meccanici; al contrario, di fronte a compiti complessi, attribuivano loro una certa intenzionalità, sempre che non avessero loro stessi programmato il robot. In tal caso, infatti, anche di fronte a comportamenti articolati, i bambini erano in grado di fornire spiegazioni tecniche e consapevoli (Levy & Mioduser, 2008; Mioduser & Levy, 2010). Evidenze più recente confermano che l'età e l'esperienza influenzano anche l'evoluzione delle rappresentazioni: l'analisi di disegni e testi mostra una progressiva evoluzione da visioni fantastiche e antropomorfiche a concezioni più realistiche e funzionali, in particolare attorno ai nove anni, quando i robot iniziano a essere visti come strumenti utili per il benessere altrui (Saettone *et al.*, 2024). Dallo

studio si può evincere il potenziale formativo della RE nello sviluppo dell'intelligenza morale ed empatica. Ciò mette in evidenza l'importanza di progettare attività di RE che tengano conto di questi aspetti e vengano pertanto calibrate sui diversi stadi evolutivi. Uno studio condotto da Giang *et al*. (2023), basato sull'analisi dei disegni dei bambini, riporta invece una tendenza inversa rispetto agli studi precedenti: i bambini più piccoli rappresentano i robot enfatizzandone gli aspetti meccanici, mentre quelli più grandi li raffigurano in modo più umanizzato. Questa inversione viene attribuita alla maggiore esposizione dei più grandi a esperienze di RE (Giang *et al*., 2023; Secim *et al*., 2021). Per quanto concerne le differenze di genere, una recente ricerca (Qin *et al*., 2025) ha indagato le percezioni e gli atteggiamenti di bambini e bambine delle aree rurali nei confronti della RE. I risultati mostrano che, sebbene inizialmente gli studenti dimostrino atteggiamenti molto positivi verso i robot - considerandoli intelligenti, affidabili e avanzati - l'esperienza diretta con la robotica porta a una revisione più realistica delle aspettative, soprattutto nei maschi, i quali, dopo il percorso educativo, tendono a percepire i robot come meno capaci di fornire supporto emotivo. Al contrario, le bambine hanno mostrato un aumento dell'accettazione verso i robot, riconoscendone un potenziale ruolo relazionale subordinato ma rassicurante. Inoltre, l'esperienza robotica ha aumentato il senso di autoefficacia degli studenti nel controllare i robot, in particolare nei maschi, anche se questo miglioramento non è risultato statisticamente significativo. Lo studio evidenzia come l'educazione con la robotica incida sulla costruzione dell'immaginario e delle competenze, sottolineando l'importanza di proporre percorsi fin dall'infanzia per orientare in modo consapevole e inclusivo lo sviluppo dell'identità tecnologica. Nel loro insieme, questi risultati indicano che rappresentazioni e atteggiamenti evolvono con l'età e con l'esperienza, muovendo da visioni più fantastiche e antropomorfiche a concezioni più realistiche, operative e funzionali.
Ne deriva una duplice implicazione educativa. Da un lato, l'educazione con la robotica influisce sugli atteggiamenti verso le STEM, sostenendo interesse, autoefficacia, e favorendo il consolidamento delle competenze tecnico-disciplinari (programmazione, pensiero computazionale) e trasversali (collaborazione, creatività); dall'altro, contribuisce a modellare l'immaginario e la comprensione critica dei robot, includendo consapevolezze sui limiti, potenzialità e rischi, nonché sui profili etici e sociali del loro impiego (*privacy*, *bias*, responsabilità).
Di qui l'opportunità di introdurre precocemente la RE nella scuola e di accompagnarla con una progettazione didattica mirata che aiuti gli studenti a sviluppare una comprensione realistica della natura e del funzionamento dei robot: obiettivi e criteri di successo esplicitati; compiti autentici che richiedano cicli di progettazione-test-riflessione; momenti di metariflessione per rendere visibili le decisioni tecniche e le loro conseguenze; attività calibrate su età e prerequisiti per evitare frustrazione e stereotipi di genere. Riflettere sul ruolo che questi dispositivi assumono nella vita quotidiana – dai robot domestici agli assistenti intelligenti – può contribuire a decostruire stereotipi e rappresentazioni ingenue o errate e a promuovere una visione più consapevole e informata. Una conoscenza adeguata delle loro implicazioni tecnologiche ed etiche permette agli studenti di riconoscere il valore educativo della robotica e di utilizzarne pienamente le potenzialità (Belpaeme *et al*., 2013). In sintesi, un'educazione con la robotica, attenta alle differenze di età e di genere e alla qualità delle esperienze, può: (a) sostenere la motivazione e l'*engagement* nelle STEM; (c) affinare la comprensione tecnica attraverso pratiche laboratoriali che rendono trasparenti logiche, vincoli e *affordance* dei sistemi; (c)

promuovere una cittadinanza digitale informata, intesa come capacità di comprendere, valutare criticamente e usare responsabilmente tecnologie robotiche e IA nella sfera personale, scolastica e civile, partecipando in modo consapevole alle scelte e ai dibattiti che ne regolano l'adozione.

3.3.2 Genitori

I genitori rivestono un ruolo cruciale nella vita dei propri figli, anche rispetto alle scelte educative e tecnologiche che li riguardano. Il loro margine decisionale può risultare determinante non solo nell'acquisto di un dispositivo robotico, ma anche nell'impiego dello stesso come strumento ludico e formativo in ambito domestico, nonché nella promozione della partecipazione dei figli a corsi di robotica. Per comprendere meglio queste dinamiche, è utile esaminare le ricerche che hanno indagato il ruolo dei genitori in relazione all'uso dei robot, distinguendo tra robot sociali e robot educativi programmabili. Una limitata conoscenza o una scarsa esperienza diretta con la RE può indurre i genitori ad assumere un atteggiamento di diffidenza o disinteresse nei confronti di tali tecnologie, sia nell'ambiente familiare che nell'ambito scolastico. Questo può tradursi nella mancata valorizzazione del potenziale educativo della RE e nell'adozione di convinzioni in grado di condizionare le scelte scolastiche e formative dei figli. Le percezioni genitoriali assumono pertanto un'importanza strategica all'interno di un'idea di educazione condivisa e partecipata con la scuola. Le indicazioni provenienti dal panorama internazionale sottolineano l'importanza del coinvolgimento attivo delle famiglie nei processi scolastici, in quanto tale partecipazione può contribuire significativamente al successo formativo degli studenti (Povey *et al.*, 2016). In quest'ottica, diventa necessario esplorare e considerare le opinioni dei genitori riguardo all'introduzione delle tecnologie digitali – e in particolare della RE – nei percorsi di apprendimento, al fine di favorire il loro coinvolgimento nel processo decisionale scolastico e promuovere una cultura dell'innovazione inclusiva.
La letteratura scientifica mostra come, ad oggi, le convinzioni dei genitori sulla RE siano ancora poco approfondite. Gli studi si sono prevalentemente concentrati sull'ambito della robotica sociale, ovvero quella categoria di robot progettati per interagire efficacemente con l'ambiente umano, fornendo informazioni più dettagliate sulle percezioni genitoriali in relazione a tali tecnologie. Ad esempio, Lee e colleghi (2008) hanno evidenziato che, sebbene studenti e genitori – a differenza degli insegnanti – siano più propensi a immaginare un impiego dei robot in contesto scolastico, nessuno dei genitori auspicava che essi potessero sostituire gli insegnanti. L'atteggiamento genitoriale appare in effetti più prudente nei confronti dei robot utilizzati per finalità educative (Kennedy *et al.*, 2016), più favorevole verso i dispositivi assistivi per l'infanzia che non ricoprono ruoli formativi (Lee *et al.*, 2022), e decisamente più positivo quando i genitori possono sperimentare in prima persona le funzionalità del robot (Shiomi & Hagita, 2017).
In questa prospettiva, il robot sociale può essere concepito come un supporto utile alla genitorialità, a patto che venga conosciuto ed esplorato direttamente: solo così i genitori riescono a maturare una percezione più concreta del suo valore d'uso. Il robot, in tal senso, può facilitare le interazioni sociali con i bambini e offrire un aiuto nella loro cura e gestione quotidiana. Gli studi condotti sull'accettazione dei robot tutor in ambito educativo confermano che variabili

come l'utilità percepita, l'influenza sociale e la fiducia riposta nella tecnologia risultano determinanti nell'orientare le intenzioni d'uso da parte dei genitori (Guggemos *et al.*, 2020; Mostafa, 2023; Pérez *et al.*, 2020; Rao & Jalil, 2021).

Accanto agli studi sui robot sociali, un secondo filone di ricerca si è concentrato sulla percezione genitoriale rispetto ai robot educativi assemblabili e programmabili, che rappresentano il nucleo della RE. Per quanto riguarda l'utilizzo della RE mediante tali robot, Feng e colleghi (2011) hanno evidenziato come, pur riconoscendone l'utilità, molti genitori mostrino scarsa fiducia nell'impiego di tali strumenti all'interno dell'insegnamento. Uno studio di Liu (2010), che ha analizzato indirettamente le percezioni genitoriali su dispositivi come i mattoncini programmabili, ha riscontrato una valutazione generalmente positiva, riconoscendone il valore educativo, seppur accompagnato da alcune riserve. Tali esitazioni si sono rivelate più marcate tra le madri, mentre i padri hanno manifestato atteggiamenti più favorevoli e una fiducia maggiore nella robotica. Considerata la novità di queste tecnologie e la limitata esperienza diretta da parte delle famiglie, risulterebbe utile coinvolgere attivamente i genitori nei processi educativi, offrendo loro l'opportunità di familiarizzare con i robot e comprenderne le potenzialità didattiche.

In tale prospettiva, la partecipazione congiunta a laboratori di RE – dove genitori e figli collaborano attivamente – può rappresentare non solo un'occasione per apprendere, ma anche uno strumento per rafforzare la relazione educativa tra le due parti (Bers, 2007). Diversi studi hanno analizzato la collaborazione familiare all'interno dei corsi di robotica (Beals & Bers, 2006; Bers & Urrea, 2000; Cuellar *et al.*, 2014; Roque *et al.*, 2016; Vel Żabik & Tanaś, 2018), aprendo scenari di ricerca promettenti per future indagini sul tema. Una maggiore integrazione sistematica della RE da parte delle scuole potrebbe inoltre contribuire a migliorare il grado di familiarità e fiducia dei genitori nei confronti di questi strumenti (Lin *et al.*, 2012). Gli stessi autori hanno riscontrato differenze significative nelle percezioni genitoriali in base allo status socio-economico: genitori con livello socio-economico più elevato tendevano a manifestare maggiore fiducia nell'uso dei robot con i propri figli. Una rassegna sistematica condotta da Piccolo e colleghi (2024) evidenzia come il coinvolgimento dei genitori in interventi terapeutici mediati da robot possa aumentare l'efficacia delle terapie pediatriche, migliorando non solo le competenze sociali e comunicative dei bambini, ma anche le abilità educative dei *caregiver*. Lo studio sottolinea che la presenza del genitore favorisce l'*engagement* del bambino, la condivisione affettiva e l'applicazione delle strategie educative anche in contesti extra-terapeutici. Tali evidenze rafforzano l'idea che i laboratori di RE condivisi possano rappresentare un contesto privilegiato per la co-costruzione di esperienze formative e relazionali significative.

Una recente indagine (Marras *et al.*, 2025) ha coinvolto genitori e figli in un laboratorio di RE organizzato dalla scuola. I risultati hanno evidenziato un interesse diffuso da parte dei genitori verso la RE, considerata una pratica utile allo sviluppo di competenze trasversali, sia sociomotivazionali che legate all'ambito STEM. Lo studio, di natura esplorativa, è stato condotto mediante uno strumento elaborato ad hoc per raccogliere le percezioni dei genitori dopo l'intervento, valutando anche la qualità della collaborazione con gli attori del processo educativo. In linea con tali evidenze, uno studio condotto in Israele (Zviel-Girshin *et al.*, 2024) ha indagato l'impatto della partecipazione dei genitori a un programma ministeriale obbligatorio di RE

nella prima infanzia. I risultati mostrano un'elevata soddisfazione da parte delle famiglie, una crescente competenza percepita nell'uso delle tecnologie e un coinvolgimento proattivo nel percorso educativo. Il progetto ha evidenziato inoltre una forte motivazione dei genitori ad approfondire le opportunità offerte dalla robotica, suggerendo l'efficacia dei percorsi formativi condivisi nel rafforzare l'alleanza educativa scuola-famiglia e nel promuovere una cultura dell'innovazione inclusiva.

Tra le dimensioni maggiormente sollecitate, quelle affettivo-emotive e relazionali si sono rivelate particolarmente significative. Inoltre, si è osservata una differenza statisticamente rilevante nei risultati in funzione del livello di istruzione dei genitori. In linea con altre ricerche (Mura *et al.*, 2020; Zurru *et al.*, 2021), tali dimensioni sembrano incidere fortemente sulla percezione generale dei genitori rispetto all'esperienza scolastica dei propri figli.

Nel complesso, gli studi convergono su un dato importante: i genitori riconoscono il valore della RE, ma la loro fiducia e il livello di coinvolgimento dipendono fortemente da fattori socio-economici, dal grado di istruzione e soprattutto dalla possibilità di vivere esperienze dirette insieme ai figli. Ciò suggerisce che la scuola e le istituzioni educative debbano promuovere percorsi che non solo coinvolgano gli studenti, ma aprano spazi di partecipazione attiva alle famiglie. Anche Lin e colleghi (2012) confermano che la maggior parte dei genitori considera i robot strumenti utili per l'apprendimento, soprattutto nell'ambito STEM. Tuttavia, molti genitori dichiarano di sentirsi insicuri quando devono insegnare ai figli come utilizzarli. Da ciò deriva l'importanza di coinvolgere i genitori in percorsi di co-progettazione e di laboratorio, per rafforzarne il senso di autoefficacia e accompagnarli in un'esperienza di apprendimento condiviso e graduale. I dati raccolti da Marras e colleghi (2025) evidenziano, ad esempio, un'alta motivazione dei genitori a partecipare alle attività di RE, una percezione molto positiva della collaborazione con figli e insegnanti e un giudizio favorevole sull'utilità dei laboratori per lo sviluppo di competenze quotidiane. Questi risultati mostrano una chiara apertura e proattività dei genitori nei confronti della RE.

Coerentemente con quanto sostenuto da Toh e colleghi (2016), il coinvolgimento attivo di genitori ed educatori nei laboratori e nei programmi di RE rappresenta una strategia efficace per aumentarne le possibilità di successo. In questa prospettiva si inserisce anche lo studio che introduce il costrutto di *parent-robot collaboration* (Ho *et al.*, 2024), un approccio teso a valorizzare l'interazione triadica tra genitori, bambini e robot nell'apprendimento domestico. I risultati suggeriscono che i robot educativi possono fungere da partner complementari per i genitori, supportandoli nelle attività di apprendimento, adattandosi al loro grado di disponibilità, competenza e motivazione e rispondendo a bisogni educativi personalizzati. In tal senso, una mancata partecipazione delle famiglie rischia di confinare la RE all'ambiente scolastico formale, limitandone le potenzialità in contesti informali o familiari. Integrare stabilmente i genitori nei percorsi di RE significa, quindi, non solo potenziare l'apprendimento degli studenti, ma anche rafforzare l'alleanza educativa scuola-famiglia, in coerenza con quanto discusso per gli altri attori coinvolti.

3.3.3 Docenti

Dopo aver analizzato le percezioni di studenti e genitori, è ora fondamentale considerare il ruolo degli insegnanti, veri mediatori dell'integrazione della RE nei contesti scolastici. Per gli insegnanti, la scelta del robot educativo più adatto e delle modalità operative più efficaci richiede un insieme articolato di competenze, sia di natura tecnologica che pedagogico-metodologica. Per proporre esperienze significative in ambito di RE non sono sufficienti competenza e convinzione: è necessaria anche una disponibilità a sperimentare, assumendosi il rischio di mettersi in gioco.

Risulta quindi fondamentale esplorare le convinzioni, le motivazioni e le eventuali resistenze degli insegnanti. A conferma di ciò, la letteratura mostra un crescente interesse per lo studio delle percezioni dei docenti e delle loro prospettive sull'integrazione della RE nei curricoli scolastici della scuola dell'infanzia, primaria e secondaria (Alsoliman, 2018; Bonaiuti *et al*., 2022b; Castro *et al*., 2018; Chalmers & Nason, 2017; Chevalier *et al*., 2016; Khanlari, 2014, 2016, 2019; Negrini, 2020).

Numerosi studi internazionali hanno indagato questo tema, evidenziando come convinzioni e atteggiamenti possano costituire tanto un motore di cambiamento quanto un freno all'adozione della RE. Le convinzioni e gli atteggiamenti dei docenti nei confronti delle tecnologie innovative possono rappresentare sia un motore di cambiamento sia un freno all'adozione della RE (Hew & Brush, 2007; Lawson & Comber, 1999), influenzando concretamente le pratiche educative.

Affinché la RE possa essere adottata in maniera diffusa e continuativa in tutte le discipline e nei diversi ordini scolastici, è imprescindibile comprendere le rappresentazioni che i docenti hanno del suo valore educativo. La letteratura mette in luce diversi elementi che alimentano la fiducia dei docenti nell'uso della RE. Numerosi studi indicano un interesse diffuso da parte degli insegnanti verso la RE (Cicognini *et al*., 2019; Ferrari *et al*., 2020; Giannandrea *et al*., 2021; Gramigna, 2018; Negrini, 2020). Ad esempio, Khanlari (2016) ha evidenziato che gli insegnanti della scuola primaria percepiscono la RE come utile nello sviluppo delle competenze socio-relazionali. Altri studi sottolineano il potenziale della RE nel migliorare la motivazione degli studenti, favorire la collaborazione tra pari, potenziare la capacità di risoluzione dei problemi e stimolare la creatività (Castro *et al*., 2018). Gli insegnanti mostrano atteggiamenti positivi soprattutto quando la RE viene impiegata per promuovere competenze specifiche, sia disciplinari sia trasversali; al contrario, emergono atteggiamenti più critici quando i robot sono percepiti come meri assistenti educativi (Fridin & Belokopytov, 2014; Kim *et al*., 2014). In generale, è più marcata la fiducia dei docenti nella capacità della RE di sviluppare soft skills, rispetto alle conoscenze disciplinari, ad eccezione di quelle strettamente collegate alle materie STEM (Khanlari, 2019; Smyrnova-Trybulska *et al*., 2016).

L'indagine di Smyrnova-Trybulska e colleghi (2016) ha rilevato che oltre la metà degli insegnanti, sia in formazione che in servizio, ritiene importante la RE per l'educazione STEM e ne auspica l'introduzione attraverso attività laboratoriali. Molti futuri insegnanti attribuiscono valore all'integrazione della RE non solo per l'insegnamento scolastico, ma anche per le future professioni degli studenti, mostrando interesse ad approfondire le proprie competenze in materia (Castro *et al*., 2018; Oreški, 2021). Piedade (2021) ha analizzato l'interesse, le conoscenze e

la fiducia degli insegnanti rispetto all'utilizzo della RE, riscontrando atteggiamenti generalmente positivi. Analogamente, Lee e colleghi (2008) hanno rilevato un ampio consenso tra insegnanti, genitori e studenti. Gli studi sulle percezioni dei docenti della scuola del primo ciclo si sono focalizzati sulle barriere all'utilizzo della robotica, evidenziando la necessità di supporti adeguati. A conferma del rilievo internazionale del tema, uno studio recente condotto in Arabia Saudita (Aldhilan *et al.*, 2025) ha indagato le percezioni delle insegnanti della scuola dell'infanzia rispetto all'uso della robotica basata sul gioco. Le docenti hanno evidenziato un generale entusiasmo per il potenziale educativo della RE nel promuovere pensiero critico, collaborazione e alfabetizzazione STEM sin dalla prima infanzia. Accanto a questi aspetti positivi, emergono tuttavia numerose criticità che ostacolano un'adozione diffusa e sistematica della RE. Sono, infatti, emerse sfide concrete legate alla scarsità di risorse, alla mancanza di formazione e a una certa resistenza culturale, confermando la necessità di una pianificazione strategica e di un supporto sistemico per garantire l'efficace integrazione della RE in contesti educativi culturalmente diversificati. Tra gli ostacoli principali: l'elevato costo dei kit robotici (Castro *et al.*, 2018; Kradolfer *et al.*, 2014; Negrini, 2020), la scarsità di materiali didattici strutturati (Mubin *et al.*, 2013; Khanlari, 2016), il supporto tecnico e pedagogico insufficiente (Chevalier *et al.*, 2016; Chalmers, 2018), la mancanza di tempo per progettare percorsi personalizzati e l'elevato numero di alunni per classe (Castro *et al.*, 2018; Khanlari, 2016). Ulteriori fattori che incidono negativamente sono la bassa autostima in relazione alle proprie competenze tecnologiche (Khanlari, 2016; Negrini, 2020) e la scarsa offerta di formazione continua (Ertmer, 2005). Alcuni docenti esprimono timori legati alla perdita del proprio ruolo educativo a causa dell'introduzione di robot con caratteristiche sociali (Reich-Stiebert & Eyssel, 2016), percepiti come potenziali sostituti (Kim & Lee, 2015). Inoltre, si registra una conoscenza limitata circa i benefici educativi della RE (Alimisis, 2013; Sisman & Kucuk, 2019), nonostante il suo potenziale per il raggiungimento degli obiettivi formativi istituzionali (Khanlari, 2016). Gli insegnanti chiedono più formazione e la disponibilità di guide e materiali da adattare alle proprie esigenze (Bonaiuti *et al.*, 2022b; Khanlari, 2016). In questo quadro, la formazione si rivela un fattore decisivo per trasformare atteggiamenti inizialmente negativi in prospettive più favorevoli. In questa direzione si colloca anche lo studio di Ortega-Ruipérez e Lázaro Alcalde (2023), che ha messo in luce come la percezione di difficoltà nell'apprendimento della programmazione e della robotica sia trasversalmente condivisa tra i docenti di tutti i livelli scolastici, sebbene gli insegnanti delle aree STEAM dimostrino una maggiore familiarità e autoefficacia. La ricerca ha evidenziato come la formazione mirata, accompagnata da guide operative, sia una condizione essenziale per aumentare la motivazione e favorire l'adozione consapevole di questi strumenti nella pratica didattica. In particolare, i docenti della scuola primaria, pur non specializzati in area tecnico-scientifica, si sono mostrati più disposti a introdurre la RE, anche in autonomia, rispetto ai colleghi di discipline non STEM nei gradi superiori. Ciò suggerisce l'importanza di progettare percorsi formativi differenziati, in grado di rispondere alle specifiche esigenze dei docenti, per promuovere una più ampia e trasversale diffusione della RE nei contesti educativi. Le ricerche mostrano che una maggiore familiarità con la RE, favorita da percorsi formativi esperienziali, può trasformare atteggiamenti inizialmente negativi in prospettive favorevoli (Khanlari, 2019; Castro *et al.*, 2018). Uno studio (Gavrilas *et al.*, 2020) ha confermato come un intervento formativo mirato, anche se breve, possa rafforzare

significativamente l'autoefficacia percepita degli insegnanti e migliorare la loro disponibilità all'utilizzo della RE in classe. Pur persistendo criticità legate al *programming* e alla mancanza di formazione STEM strutturata, l'esperienza diretta ha stimolato negli insegnanti maggiore interesse, anche in relazione alla risposta positiva degli studenti, incluse le situazioni di *bisogni educativi speciali* (BES).
Infatti, è stato osservato che dopo un breve percorso formativo, gli insegnanti rivedono le proprie aspettative, valorizzando maggiormente le dimensioni metacognitive e riflessive rispetto alle abilità digitali e tecnologiche. La formazione contribuisce anche a superare rappresentazioni ingenue della RE, favorendo una visione più critica e consapevole (Schina *et al.*, 2021). Le variabili anagrafiche e disciplinari non sembrano influenzare significativamente la percezione della RE, tuttavia, le resistenze sembrerebbero legate alla percezione di un eccessivo utilizzo della tecnologia nella vita degli studenti (Negrini, 2020). In linea con queste evidenze, uno studio recente (De la Hoz *et al.*, 2024) ha messo in luce l'efficacia di un intervento basato sulla RE e sul *Challenge-Based Learning* nel rafforzare l'autoefficacia e le percezioni positive verso l'integrazione della RE tra futuri docenti della scuola primaria. L'intervento ha favorito non solo una maggiore consapevolezza delle potenzialità della RE in ambito STEM, ma anche una riflessione critica sulle sue difficoltà applicative, come la carenza di risorse, i costi elevati e la necessità di supporto formativo. Tali risultati confermano quanto sia strategico proporre esperienze formative pratiche e collaborative per consolidare atteggiamenti favorevoli verso la robotica, ridurre le esitazioni legate al genere e potenziare la capacità di integrare questi strumenti nella didattica scientifica e matematica. Occorrerebbe interrogarsi su come tali atteggiamenti siano mutati a seguito della pandemia da Covid-19, che ha accelerato la digitalizzazione della scuola e promosso, in alcuni casi, l'introduzione della Robotica Educativa a Distanza (REaD) (Burlin *et al.*, 2021). Nel complesso, il quadro che emerge è duplice: da un lato l'interesse crescente e la disponibilità dei docenti verso la RE; dall'altro, resistenze culturali, mancanza di risorse e timori legati al ruolo della tecnologia. Affinché la RE possa radicarsi stabilmente nella scuola, sarà quindi fondamentale investire in formazione continua e in un supporto istituzionale strutturato.

3.4 Formazione degli insegnanti

Come emerso nei paragrafi precedenti, le convinzioni e le attitudini degli insegnanti influenzano fortemente l'adozione della RE. Per sostenere un cambiamento effettivo, diventa quindi decisiva la qualità della loro formazione. I principali documenti internazionali (ISTE, 2017; NAEYC & Fred Rogers Center, 2012; Redecker & Punie, 2017) hanno progressivamente delineato nuovi profili di competenza per i docenti, attribuendo un ruolo centrale alle competenze digitali. Non è realistico immaginare uno sviluppo efficace del pensiero computazionale negli studenti senza, prima, garantire un'adeguata formazione degli insegnanti. Appare dunque indispensabile progettare percorsi formativi adeguati, sia in fase iniziale sia in itinere, fondati su una chiara definizione delle competenze specifiche richieste ai docenti.
Un contributo rilevante in questo senso proviene dalle *Computational Thinking Competencies for Educators* elaborate dalla *International Society for Technology in Education* (ISTE, 2017), che

identificano le competenze chiave necessarie agli educatori per integrare efficacemente il pensiero computazionale nei processi di insegnamento-apprendimento. Oltre allo sviluppo del pensiero computazionale, le linee guida sottolineano anche l'importanza di promuovere creatività, comunicazione e collaborazione e offrono una cornice utile non solo sul piano internazionale, ma anche per guidare la progettazione di percorsi formativi nazionali e locali, adattabili ai diversi ordini di scuola.
Diversi studi empirici hanno indagato l'impatto concreto dei percorsi di formazione sulla pratica didattica. Una revisione sulla formazione nella RE (Giannandrea *et al.*, 2021) ha messo in luce come percorsi formativi pre- e in servizio abbiano effettivamente permesso ai docenti di acquisire non solo conoscenze tecniche e metodologiche necessarie a sostenere le pratiche didattiche con la robotica, ma anche una maggiore consapevolezza dei benefici pedagogici connessi all'utilizzo dei robot in classe.
Oltre agli aspetti metodologici, la letteratura richiama l'attenzione anche sulle competenze disciplinari, ritenute decisive per un'integrazione efficace della RE. L'interesse e la padronanza disciplinare, come sottolineato da numerosi studi, rappresentano elementi essenziali affinché l'insegnamento sia efficace (Hattie, 2023; Shulman, 1987). In tal senso, una buona conoscenza della RE risulta associata a un atteggiamento favorevole dei docenti nei suoi confronti (Papadakis *et al.*, 2021). Tuttavia, una parte significativa degli insegnanti non sembra ancora pienamente consapevole delle potenzialità della RE per l'apprendimento, e anche tra coloro che ne riconoscono il valore, molti dichiarano di non sentirsi pronti a implementarla (Sisman & Kucuk, 2019). Tale senso di inadeguatezza è spesso attribuibile alla carenza di una formazione specifica, che dovrebbe essere progettata tenendo conto delle peculiarità didattiche della disciplina e supportata da strumenti validati in grado di rilevare con precisione sia i prerequisiti iniziali che l'impatto formativo finale.
Tuttavia, nonostante le numerose iniziative formative, rimane un nodo irrisolto legato alla valutazione della loro reale efficacia. In tal senso, Schina e colleghi (2021) evidenziano una criticità rilevante: la formazione degli insegnanti raramente viene valutata in termini di efficacia. Spesso, infatti, non è prevista alcuna verifica post-formazione che possa attestare il reale grado di preparazione raggiunto dai docenti, né tanto meno se le conoscenze acquisite abbiano trovato applicazione concreta nella pratica educativa. Di fronte a questa lacuna, risulta urgente disporre di strumenti di valutazione della formazione che siano al tempo stesso sostenibili per i formatori e affidabili sul piano scientifico. Questo aspetto sarà ripreso nel quinto capitolo, dove verranno presentati strumenti per monitorare l'impatto della formazione docente sull'integrazione della RE nei contesti scolastici.

3.4.1 Formazione universitaria

Dopo aver sottolineato, in generale, l'importanza della formazione dei docenti per l'integrazione della RE, è utile soffermarsi innanzitutto sulla formazione universitaria, che costituisce il primo snodo per preparare i futuri insegnanti. La formazione nell'ambito della RE offre agli insegnanti l'opportunità di sviluppare atteggiamenti positivi, accrescere il proprio senso di autoefficacia e migliorare la qualità della didattica sia sul piano metodologico che

contenutistico, con conseguenze significative sull'apprendimento degli studenti (Giannandrea *et al*., 2021).
La formazione dei docenti, come già anticipato, può essere articolata in due principali ambiti: la formazione iniziale, di carattere universitario, e la formazione in servizio, intesa come impegno verso un apprendimento continuo e permanente. I percorsi pre-servizio destinati ai futuri insegnanti si svolgono generalmente nell'ambito di corsi di laurea, master o corsi di specializzazione. In questo contesto, si segnalano esperienze virtuose come quella dell'Università di Zagabria, che ha introdotto un insegnamento specifico sulla RE all'interno del curriculum per futuri docenti. Gli studenti, in questo caso, apprendono a programmare e assemblare robot educativi in modo rapido ed efficace (Oreški, 2021).
Accanto a queste iniziative curriculari, alcune università hanno sperimentato piattaforme e strumenti specifici per la didattica della robotica. Un altro esempio riguarda l'impiego della piattaforma *Pioneer*, utilizzata sia nella ricerca che nell'insegnamento universitario della robotica, sebbene non offra agli studenti la possibilità di progettare attività didattiche personalizzate in funzione delle caratteristiche del gruppo classe. Tali esperienze risultano utili per acquisire competenze tecnologiche specifiche, ma da sole non bastano a promuovere una riflessione metodologico-didattica strutturata, necessaria per integrare il pensiero computazionale in modo sistematico nei contesti educativi. L'esigenza trova conferma in studi recenti che hanno analizzato il ruolo strategico della RE nei percorsi di formazione iniziale. Da qui l'importanza di investire maggiormente nella formazione iniziale dei docenti sulla RE (Gabriele *et al*., 2020; Giacomassi Luciano *et al*., 2019). In questa prospettiva si inserisce lo studio di Mandic e colleghi (2024), che propone una riflessione approfondita sul ruolo della RE nei percorsi di formazione iniziale. Gli autori sottolineano come la transizione verso ambienti scolastici sempre più digitali richieda l'acquisizione precoce di competenze come il pensiero algoritmico e l'alfabetizzazione digitale. Tuttavia, l'efficacia dell'integrazione della robotica non può limitarsi all'adozione dello strumento tecnologico, ma deve comprendere la formazione consapevole degli insegnanti, la progettazione di ambienti di apprendimento inclusivi e l'adozione di strategie didattiche flessibili. Lo studio evidenzia inoltre come l'impatto della RE dipenda da molteplici fattori: le competenze pedagogiche e tecniche dei docenti, l'accessibilità e qualità dei dispositivi, la personalizzazione didattica, la tutela della privacy e la sicurezza degli studenti. Per affrontare queste sfide, gli autori suggeriscono la creazione di gruppi di lavoro interdisciplinari dedicati allo sviluppo di curricoli innovativi ispirati a una visione olistica dell'educazione tecnologica.
Schina e colleghi (2021) evidenziano che la maggior parte delle iniziative di formazione pre-servizio non prevede attività di verifica dell'effettiva acquisizione delle competenze, come la realizzazione di progetti o pratiche didattiche applicative (ad es. Chambers & Carbonaro, 2003; Jaipal-Jamani & Angeli, 2017). Alcuni percorsi richiedono invece la progettazione di un elaborato finale (Kucuk & Sisman, 2018; Sisman & Kucuk, 2019), mentre pochi invitano alla sperimentazione pratica, ad esempio in contesti di tirocinio o laboratorio (Bers & Portsmore, 2005; Bers *et al*., 2002; Verner, 2013). Tale aspetto sottolinea la necessità di affiancare l'acquisizione di competenze tecniche a esperienze applicative, capaci di consolidare l'apprendimento e favorire la riflessione didattica. La realizzazione di un progetto didattico finale risulta particolarmente rilevante, in quanto permette allo studente di mettere in pratica le competenze

acquisite: dalla costruzione di un robot allo sviluppo di codici di programmazione, fino alla progettazione di materiali didattici o di Unità di Apprendimento (UdA). In questa prospettiva, l'implementazione di interventi formativi coerenti non può prescindere da un'ideazione approfondita e da una progettazione rigorosa e dettagliata delle attività, in linea con l'impostazione della didattica come "scienza della progettazione" (Laurillard, 2015).
Un modello particolarmente significativo di formazione universitaria si riscontra nella Svizzera italiana, presso la Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUPSI), che da anni lavora per integrare la RE nei curricula dei futuri insegnanti. L'esempio di buona pratica in questo ambito è rappresentato dal corso "Tecnologia e Media II", offerto dal Dipartimento Formazione e Apprendimento/Alta Scuola Pedagogica (DFA/ASP). Il corso, rivolto ai futuri docenti della scuola dell'infanzia e primaria, include moduli dedicati a RE, *coding*, *making* e *tinkering*. È strutturato in coerenza con il Piano di studio della scuola dell'obbligo del Canton Ticino, il quale, pur non menzionando esplicitamente la robotica nei primi cicli, invita i docenti a promuovere un uso consapevole e funzionale degli oggetti tecnologici. Per la scuola media, invece, le indicazioni risultano più esplicite, sollecitando gli insegnanti a introdurre attività di progettazione e programmazione di semplici dispositivi e robot (DECS, 2022).
Il Dipartimento dell'Educazione, della Cultura e dello Sport del Canton Ticino promuove dunque, in linea con le direttive italiane ed europee, la diffusione di attività di RE, riconoscendone la natura interdisciplinare e il potenziale nello sviluppo di competenze trasversali come collaborazione, comunicazione, pensiero critico e creativo. Nell'ambito della formazione SUPSI, i progetti rappresentano un nodo cruciale: sono esito di un percorso formativo specifico e al tempo stesso punto di partenza per l'attività professionale. I moduli sono realizzati da diversi membri del team del Laboratorio MEM[10], secondo approcci scientifici differenziati, e si configurano come esplicitamente interdisciplinari. Il laboratorio MEM è un contesto in cui l'insegnamento laboratoriale si intreccia con la ricerca educativa, producendo dispositivi progettuali orientati all'ottenimento dei crediti formativi.
Un ulteriore punto di forza è rappresentato dalla piattaforma digitale "Roteco"[11], uno strumento interattivo gratuito che raccoglie progetti didattici, materiali e testimonianze. La piattaforma favorisce la creazione di comunità di pratica e lo scambio di buone pratiche tra docenti di diversi ordini scolastici, alimentando un archivio ricco e condiviso, utile sia per la pratica professionale che per la ricerca educativa (Mury *et al.*, 2022). Le prime valutazioni sull'utilizzo di *Roteco* evidenziano un forte interesse da parte degli insegnanti: oltre il 60% dei partecipanti ne riconosce il valore per la propria attività didattica, ritenendola una risorsa replicabile anche

[10] I membri del Laboratorio Media e MINT (MEM) comprendono sia esperti provenienti da diversi ambiti scientifici sia figure tecniche incaricate della gestione operativa del laboratorio, inclusa la manutenzione delle attrezzature e dei dispositivi tecnologici. Il gruppo di ricerca dedicato alla didattica accademica abbraccia l'intero spettro disciplinare della didattica generale, delle tecnologie educative e delle aree STEM/MINT (Scienze Matematiche, Informatiche, Naturali e Tecniche). Vi operano informatici e ingegneri impegnati nello sviluppo del pensiero computazionale in chiave tecnica, didatti specializzati nei diversi ambiti scientifici – dalla matematica alle scienze naturali – ed esperti delle scienze umane, tra cui pedagogisti e psicologi dello sviluppo. Questa composizione eterogenea consente di valorizzare l'acquisizione di competenze metodologiche e didattiche fondamentali per la costruzione dell'identità professionale dei futuri insegnanti. Il Laboratorio MEM è coordinato scientificamente dal Professor Lucio Negrini.
[11] https://www.roteco.ch/it/

in altri contesti nazionali (Negrini *et al.*, 2025b). Mentre in Svizzera la formazione universitaria in RE ha già una collocazione strutturale, in Italia si è sviluppato un percorso istituzionale che ha progressivamente rafforzato l'attenzione sul tema. In particolare, nel 2014 l'interesse delle istituzioni è stato formalizzato con la sottoscrizione dell'Accordo di rete per la definizione di una strategia nazionale di lungo periodo (Fondazione Mondo Digitale, 2014). Tale accordo ha sancito l'impegno congiunto di università, centri di ricerca, aziende e associazioni nel promuovere lo sviluppo della RE attraverso il confronto e la cooperazione. Negli ultimi anni, si è assistito a un ulteriore rafforzamento di questa tendenza: molte università italiane si sono attivate nella creazione di laboratori didattici e di ricerca specifici, destinati alla formazione di insegnanti ed educatori nel campo della RE. Tra le esperienze più rilevanti si colloca il laboratorio RobotiCSS (*Laboratory of Robotics for the Cognitive and Social Sciences*) dell'Università di Milano-Bicocca, che unisce ricerca e formazione universitaria. Il centro promuove la ricerca applicata, l'organizzazione di convegni internazionali come il CRI (*International Conference of Child-Robot Interaction*), *workshop* di divulgazione e corsi di perfezionamento rivolti a figure professionali eterogenee. L'approccio adottato va oltre le dimensioni logiche e formali, per esplorare anche gli effetti della RE sui processi di apprendimento, offrendo strumenti utili alla progettazione didattica.

La panoramica dei programmi formativi dedicati alla RE, delineata da Schina e colleghi (2021), evidenzia alcune criticità, tra cui l'eterogeneità nella durata e nei requisiti dei corsi, nonché l'assenza di una sistematizzazione dei profili dei formatori, spesso poco documentati e diversificati. Gli elementi ricorrenti nelle buone pratiche formative individuate riguardano la collaborazione, l'utilizzo di materiali didattici adeguati, l'ancoraggio a solide teorie pedagogiche, l'esperienza laboratoriale e il *feedback* costante come forma di supporto professionale.

Dalla panoramica dei programmi emerge dunque un quadro ricco ma ancora disomogeneo, che sollecita riflessioni sulle prospettive future della formazione universitaria in questo ambito. In un'ottica di diffusione capillare e condivisa della RE nel contesto scolastico, sarebbe auspicabile che tutte le università includessero percorsi formativi a carattere laboratoriale all'interno dei corsi di laurea, dei master, dei percorsi abilitanti e *post-lauream*, come i Tirocini Formativi Attivi (TFA) per i futuri insegnanti di sostegno. Considerato il potenziale della RE in termini di inclusione e motivazione (Giannandrea *et al*., 2021), risulta particolarmente importante formare su questi temi anche i docenti specializzati nell'inclusione scolastica (Agatolio *et al*., 2017). Il docente di sostegno, infatti, può favorire i processi inclusivi attraverso attività di RE, esercitando un ruolo attivo e corresponsabile all'interno della didattica d'aula. In questa prospettiva, Di Battista e colleghi, (2020) evidenziano una percezione ampiamente positiva dell'impiego della RE con studenti con ADHD, ASD e disprassia, incoraggiandone l'integrazione in percorsi strutturati. Cerosimo e Pennazio (2024) hanno invece indagato gli atteggiamenti verso la RE di numerosi insegnanti in formazione per il sostegno, utilizzando il *Robotics Interest Questionnaire* (Marras *et al.*, 2024b). I risultati hanno evidenziato punteggi inferiori alla media nazionale in tutte e quattro le dimensioni analizzate – interesse per la tecnologia, autoefficacia, *problem solving* e lavoro collaborativo – tra i docenti privi di esperienze pregresse con la RE. Al contrario, coloro che avevano già avuto contatti con attività di robotica hanno mostrato livelli significativamente più alti, soprattutto in termini di motivazione e fiducia personale, come mostrano i dati normativi. Tali evidenze confermano l'importanza di offrire

percorsi formativi strutturati e pratici, capaci di rafforzare non solo le competenze tecnologiche, ma anche quelle trasversali e relazionali, indispensabili per un'integrazione efficace e inclusiva della RE nella didattica.
Affinché la formazione sia realmente efficace, i corsi universitari di RE dovrebbero prevedere obiettivi educativi e traguardi di competenza ben definiti, con una durata, una frequenza e un'intensità coerenti. È altresì necessario che vengano stabiliti criteri chiari per la valutazione delle competenze in uscita e profili strutturati dei formatori coinvolti, provenienti da ambiti scientifici differenti. Solo attraverso la collaborazione tra esperti di robotica, programmatori, didattici e tecnologi educativi è possibile progettare percorsi formativi interdisciplinari, capaci di valorizzare sia gli aspetti metodologici sia quelli tecnici, generando apprendimenti trasformativi.
Su tale sentiero, gli insegnanti assumono un ruolo centrale nel ripensamento dei percorsi educativi legati alla RE, potendo fungere essi stessi da promotori del cambiamento all'interno delle rispettive realtà scolastiche. Una formazione universitaria solida e mirata è indispensabile, non solo per fornire le competenze necessarie all'attuazione di pratiche innovative, ma anche per stimolare una rielaborazione critica dei propri quadri di riferimento e favorire l'attivazione di processi di apprendimento continuo.

3.4.2 Formazione in servizio

Negli ultimi anni il sistema scolastico italiano ha avviato interventi strutturali sull'educazione tecnologica, a partire dall'introduzione dell'animatore digitale in ogni istituto (L. 107/2015) e dalla creazione delle *équipe formative territoriali* di RE, coding, metaverso e pensiero computazionale (Azione 17 e 29 del PNSD 2015; L. 233/2021, art. 24 bis). In parallelo, le raccomandazioni europee nel rapporto *A Comprehensive European Industrial Policy on Artificial Intelligence and Robotics* sollecitano curricula verticali di competenze digitali e di programmazione dall'infanzia all'apprendimento permanente (*Committee on Industry Research and Energy*, 2019). Questa doppia spinta, nazionale ed europea, crea una domanda di coerenza curricolare e di capacità professionali che rende la formazione in servizio lo snodo operativo decisivo: senza sviluppo professionale mirato, l'adozione della RE resta episodica e dipendente dai singoli. L'integrazione delle tecnologie robotiche a scuola rappresenta da tempo una sfida rilevante per l'intera comunità educativa; ancora oggi, occorre individuare strategie efficaci che rispondano a tali bisogni, a partire dal potenziamento delle competenze del corpo docente (Chambers & Carbonaro, 2003). Sebbene la formazione universitaria si stia strutturando per affrontare queste sfide, non è ancora in grado di offrire una preparazione specifica a tutto il personale scolastico. Di conseguenza, i docenti più motivati e curiosi si trovano spesso di fronte a una scelta: ricorrere all'autoformazione oppure partecipare a percorsi di formazione continua.
Negli ultimi anni, in Italia, si sono diffuse guide didattiche e percorsi operativi su RE e coding, pensati per colmare il divario formativo e offrire un primo supporto ai docenti. Tuttavia, questi strumenti, se usati come unici riferimenti, rischiano di favorire approcci passivi e procedurali. Sarebbe più opportuno considerarli come risorse tecniche da utilizzare nelle fasi iniziali, lasciando poi spazio alla creatività, allo sviluppo di comunità di pratica e alla condivisione di materiali ed esperienze (Bonaiuti *et al.*, 2022b).

La circolazione di risorse educative, articoli scientifici e testimonianze didattiche può sostenere l'autoformazione e stimolare i docenti a sperimentare nuove progettualità. In tal senso, molti insegnanti manifestano l'esigenza di incardinare la RE all'interno di una cornice teorica e metodologica solida, capace di ispirare approcci innovativi, sostenere la progettazione di Unità di Apprendimento e valorizzare il ruolo attivo dell'insegnante come facilitatore di processi.
Tra le principali barriere all'adozione della RE emerge il senso di inadeguatezza o sfiducia nelle proprie competenze, spesso dovuto a una formazione assente o non sufficientemente approfondita; quando la competenza in RE dei docenti è elevata, matura la loro consapevolezza metodologica e accresce la loro sicurezza nell'applicazione didattica (Marras *et al.*, 2024b). Alla luce di questo quadro, appare prioritario anche per il contesto italiano garantire una formazione in servizio solida e continuativa sulla RE, in grado non solo di facilitare l'insegnamento del coding e della robotica, ma anche di accrescere la fiducia degli insegnanti nelle proprie competenze (Major *et al.*, 2012).

Le ricerche sulla formazione in servizio dei docenti sono state recentemente sistematizzate da una rassegna della letteratura a cura di Schina e colleghi (2021). Da tale sintesi emerge che, anche nei percorsi di formazione rivolti ai docenti curriculari, nella maggior parte dei casi non viene richiesta alcuna forma di elaborato finale utile a verificarne l'efficacia didattica (ad esempio Alimisis, 2019; Scaradozzi *et al.*, 2019a). In alcune esperienze, è stato previsto lo sviluppo di una progettazione didattica (Castro *et al.*, 2018; Negrini, 2019), mentre solo in rari casi si è promosso l'impegno concreto nell'implementazione delle attività di RE nella pratica d'aula, come previsto in contesti di didattica curricolare (Conchinha, 2015; Hodges, 2018; Sullivan & Moriarty, 2009).
Ne consegue l'esigenza di progettare percorsi formativi con compiti autentici che richiedano: (a) progettazione, (b) sperimentazione in classe, (c) valutazione e riflessione sugli esiti. Ciò attiva processi riflessivi e metacognitivi e consente di connettere l'azione formativa con il miglioramento reale della pratica. La natura poliedrica della RE si presta, infatti, a molteplici declinazioni progettuali, adattabili ai diversi contesti disciplinari e scolastici, favorendo un impatto educativo trasversale. Si diffonde sempre più l'idea della RE come dispositivo formativo in grado di orientare le pratiche didattiche verso approcci innovativi, fondati su una didattica per competenze, interdisciplinare e inclusiva. Non va dimenticato, tuttavia, che ogni esperienza didattica deve essere sviluppata tenendo conto delle specificità del contesto scolastico in cui si colloca. È essenziale, pertanto, che i docenti apprendano a selezionare, tra le molteplici componenti della robotica, quelle più coerenti con gli obiettivi formativi, i contenuti disciplinari e le caratteristiche della classe. In questa prospettiva, la formazione continua in ambito RE dovrebbe mirare sia a fornire strumenti per la progettazione didattica, sia a supportare la capacità di contestualizzare concetti complessi in scenari realistici e significativi.
In questo senso, il Dipartimento Formazione e Apprendimento (DFA) della SUPSI propone un modello formativo particolarmente efficace, offrendo un percorso di aggiornamento specificamente dedicato alla RE e destinato a tutti i docenti della scuola dell'obbligo. Tale offerta nasce dalla collaborazione con il Dipartimento di Tecnologie Innovative (DTI) di Lugano, e ha portato alla creazione di un percorso di perfezionamento interdisciplinare, il Certificato di Studi Avanzati (CAS) in RE. La sinergia tra il DTI, focalizzato sull'acquisizione di competenze tecniche e digitali, e il DFA, orientato alla didattica e alla sperimentazione metodologica, consente

di offrire ai docenti del territorio un percorso formativo solido e integrato. Il corso promuove la specializzazione in RE, garantendo non solo l'acquisizione di contenuti, ma anche la possibilità di sperimentare direttamente in aula nuove metodologie e strategie didattiche, rafforzando così la fiducia dei docenti nell'integrazione della robotica nei contesti scolastici.

La RE si presta efficacemente allo sviluppo di obiettivi curricolari (González & Muñoz-Repiso, 2017) e all'adozione di nuovi approcci e metodi didattici (Alimisi *et al*., 2020). Nell'ambito dell'educazione formale, è auspicabile che i docenti, nella fase iniziale di progettazione delle attività di RE, partano da una macro-progettazione curricolare, integrando gli obiettivi specifici delle singole discipline con quanto previsto dalla programmazione annuale. Individuati i traguardi trasversali, gli stessi insegnanti dovrebbero poi valutare come condividerli e tradurli in progetti multidisciplinari a carattere interdisciplinare.

Successivamente, è necessario un momento di micro-progettazione, in cui gli insegnanti definiscono i problemi da cui intendono partire, i prerequisiti richiesti agli studenti, gli strumenti – sia tecnologici che organizzativi – e le strategie didattiche da adottare. Le attività andrebbero strutturate secondo un livello crescente di complessità, in modo da consentire a docenti in formazione e studenti di raggiungere progressivamente piccoli obiettivi, attraverso i quali integrare nuove conoscenze e affrontare problemi via via più articolati.

È fondamentale, inoltre, che gli insegnanti non solo acquisiscano i necessari riferimenti teorici, ma riflettano sugli ambienti di apprendimento da promuovere e sulle modalità di gestione della classe durante le attività di RE (Hynes & Dos Santos, 2007). Un simile approccio consente di consolidare, attraverso la pratica, la propria identità professionale (Giacomassi Luciano *et al*., 2019).

Un esempio virtuoso di formazione è rappresentato dal *Robotik Camp*, un'iniziativa di tre giornate immersive organizzata da Scuole Universitarie della Svizzera, attive in tutte le regioni linguistiche. Prima dell'incontro in presenza, ai partecipanti viene chiesto di seguire lezioni teoriche online e compilare un questionario, così da costruire una solida base teorica e permettere ai formatori di delineare un profilo dei partecipanti utile alla progettazione del laboratorio. Durante le giornate, i docenti sono affiancati da esperti disciplinari, con un supporto costante. I risultati dell'esperienza mostrano un miglioramento significativo dell'autoefficacia e delle conoscenze in RE ($p<.001$) e un progresso nella dimensione collaborativa ($p=0.050$), mentre per interesse e *problem solving* si è osservato un trend positivo, sebbene non significativo (Negrini *et al.,* 2025b). Il camp, ispirato ai modelli di *flipped classroom* e *station rotation*, ha previsto attività pratiche e momenti di scambio tra docenti di diverse regioni linguistiche, favorendo il senso di comunità e l'apprendimento collaborativo. La piattaforma *Roteco* ha sostenuto il proseguimento dell'esperienza formativa nel tempo. La formazione si è rivelata efficace anche per gli insegnanti senza esperienza pregressa, mostrando come un approccio immersivo, collaborativo e di didattica *blended* possa incidere positivamente sulle percezioni e sulle competenze necessarie per implementare la RE nei contesti scolastici. Il *Robotik Camp* essenzialmente integra le cinque caratteristiche delle *best practices* individuate da Schina e colleghi (2021): promozione della collaborazione in un progetto finale; esercitazioni pratiche di assemblaggio e programmazione supportate da basi teoriche; disponibilità di materiali; inquadramento teorico-pedagogico della RE; *feedback* costanti durante il percorso. La valorizzazione di un ambiente di apprendimento informale è un ulteriore elemento distintivo del percorso

formativo, ciò ha facilitato il confronto diretto tra i formatori e i partecipanti, favorendo il *learning by doing* e l'approccio per tentativi ed errori. I docenti, provenienti da contesti scolastici eterogenei, hanno rilevato in modo diretto le potenzialità educative dei vari artefatti robotici e dei corrispondenti linguaggi di programmazione, oltre alla pertinenza delle strategie didattiche che ne sostengono l'integrazione. La fase riflessiva conclusiva ha visto gli insegnanti adottare l'habitus del co-progettista di attività di RE, maturando consapevolezza del valore della personalizzazione dell'apprendimento, anche per gli studenti con BES o ad alto potenziale.

Da quanto finora esposto emerge che, se da un lato è indubbio che la formazione sulla RE sia indispensabile, dall'altro è necessario pensare percorsi formativi più strutturati, calibrati sui diversi ambiti disciplinari. Tali percorsi dovrebbero ingaggiare attivamente i docenti come protagonisti del proprio apprendimento, offrendo occasioni autentiche di laboratorio e cicli di progettazione-azione-riflessione in cui il sapere si costruisce attraverso la collaborazione e il fare (Giannandrea *et al*., 2021). In questa prospettiva, la formazione assume una chiara connotazione progettuale e interdisciplinare, coerente con i principi della pedagogia del *Maker*, così da connettere finalità disciplinari, scelte metodologiche e vincoli di contesto.

Al contempo ricerche recenti (Bonaiuti *et al*., 2022b) segnalano un disallineamento tra il possesso di abilità tecnologiche di base e la capacità di impiegarle efficacemente nel contesto didattico. Sebbene i docenti presentino buone competenze digitali, ciò che rende strategico un percorso formativo è l'integrazione profonda tra contenuti disciplinari (CK), conoscenze pedagogiche (PK) e competenze tecnologiche (TK), come sottolineato dal modello TPCK di Mishra e Koehler (2006). Alla luce degli aggiornamenti più recenti del *framework* TPACK (Mishra *et al*., 2023) in relazione all'impatto dell'Intelligenza Artificiale generativa nell'ambito educativo, la formazione in servizio dovrebbe inoltre esplicitare il ruolo del contesto (XK) nei processi di progettazione didattica e, nel caso della RE, problematizzare le implicazioni etiche e critiche connesse alle tecnologie emergenti in classe. In sintesi, un percorso laboratoriale e riflessivo, che connetta contenuti disciplinari, conoscenze pedagogiche e tecnologiche alla dimensione contestuale, e sia altresì orientato alla progettazione di prodotti didattici da implementare e valutare, può orientare il corpo docente verso una didattica più consapevole, efficace e trasformativa: dalla competenza tecnica alla progettazione curricolare situata, dalla sperimentazione episodica a pratiche stabili e condivise.

PARTE II

TRAIETTORIE DI RICERCA E STRUMENTI

Capitolo 4

Funzionamento esecutivo e percezioni degli studenti

Nel solco delle cornici teoriche discusse nei capitoli precedenti, il presente capitolo focalizza l'attenzione sul funzionamento esecutivo e sui processi di apprendimento attivati dalla RE in contesti scolastici ordinari. Si presentano due indagini complementari: (a) uno studio pre-sperimentale nella scuola primaria del Sud Sardegna, che integra la RE nel curricolo e monitora le FE, il *problem solving* aritmetico, e i processi di inclusione; (b) uno studio quasi-sperimentale nel Canton Ticino, centrato sulla valutazione del controllo attentivo, della memoria di lavoro e della regolazione emotivo-comportamentale, con rilevazioni *ex ante* ed *ex post* intervento di RE e un questionario di percezione finale. In entrambi i casi, è stato adottato un impianto *mixed methods* articolato attorno a tre nuclei: le scelte metodologiche, con i loro punti di forza e i limiti affrontati; gli strumenti standardizzati e osservativi; e i risultati, analizzati con approcci sia inferenziali sia descrittivi. L'intento non è produrre generalizzazioni estese, ma offrire contributi empirici utili a comprendere cosa funziona nei laboratori di RE, per chi e a quali condizioni, con particolare attenzione agli alunni con BES. La sintesi finale costruisce il ponte con il capitolo successivo, dedicato alla formazione dei docenti, esplicitando gli elementi che ne influenzano la predisposizione verso la RE, e con il capitolo conclusivo, che approfondisce le cornici interpretative e applicative congiuntamente agli strumenti per valutare e sostenere i processi di insegnamento-apprendimento della RE.

4.1 Evidenze da alcune ricerche italiane

L'esperienza del Sud Sardegna costituisce il primo banco di prova: un disegno pre-sperimentale che esplora l'impatto della RE sulle FE e sul *problem solving*, valorizzando al tempo stesso la triangolazione tra i dati proveniente dai test standardizzati e dalle percezioni degli attori scolastici. La ricerca si propone, infatti, di analizzare i cambiamenti nei processi cognitivi e di apprendimento degli alunni della scuola primaria, a seguito dell'implementazione di un percorso laboratoriale di RE in un contesto scolastico formale. L'intervento è stato progettato per incidere concretamente sia sulla didattica curricolare che extracurricolare, valorizzando la scuola come ambiente privilegiato per l'integrazione strutturata dei laboratori di RE, al fine di esplorarne le potenzialità educative a più livelli, sia sul piano individuale che collettivo.
Il disegno di ricerca prevede degli interventi progettati secondo i principi dell'UDL e implementati prendendo ispirazione dai tre momenti declinati nel modello EAS, ponendo al centro l'esperienza, la scoperta e la riflessione, e mira a verificare se tale *modus operandi*, applicato alla

RE, sia in grado di migliorare significativamente competenze scolastiche complesse, come, ad esempio, la capacità di *problem solving* aritmetico. In questa prospettiva, non ci si è limitati a osservare l'efficacia immediata dell'intervento, ma si è voluto indagare anche la sua tenuta nel tempo, analizzando la persistenza dei benefici cognitivi rilevati dopo l'esperienza laboratoriale attraverso una rilevazione *follow up*.
Il primo ambito di indagine riguarda, dunque, l'impatto della RE sul potenziamento dei processi di apprendimento. Nello specifico, si è cercato di comprendere in che misura e a quali condizioni le attività di progettazione e programmazione del robot possano favorire lo sviluppo delle capacità di *problem solving* aritmetico, della pianificazione e, più in generale, delle FE di base, quali il controllo inibitorio, la memoria di lavoro visuo-spaziale e la flessibilità cognitiva. L'interesse verso il ruolo delle FE è stato approfondito in particolare in relazione alla loro funzione di sostegno all'apprendimento e alla loro evoluzione nel tempo, con attenzione anche agli alunni con BES, per i quali si ipotizza che la RE possa rappresentare uno strumento didattico particolarmente efficace e inclusivo.
Sebbene negli ultimi anni alcune esperienze abbiano integrato percorsi di *coding* e pensiero computazionale, in contesti sia curricolari che extracurricolari (come nei progetti PON documentati da Nulli *et al.*, 2022), tali iniziative risultano ancora sporadiche, spesso prive di un approccio sistematico o di una valutazione strutturata. L'approccio misto adottato in questa ricerca, consente di delineare nuove traiettorie interpretative sull'uso della RE nella scuola primaria e di esplorarne in modo concreto le potenzialità rispetto alle strategie didattiche e alle modalità operative più efficaci (Tzagkaraki *et al.*, 2021).
Alla luce di ciò, una prima ipotesi di ricerca si propone di verificare se l'introduzione di un percorso curricolare integrato di RE, strutturato secondo i principi pedagogici e didattici condivisi e precisi, possa effettivamente supportare lo sviluppo di funzioni cognitive complesse, di FE di base e di competenze trasversali applicabili a più ambiti disciplinari. Le evidenze già disponibili in letteratura hanno mostrato come la RE possa essere uno strumento valido per lo sviluppo del *problem solving* e dell'apprendimento matematico (Çiftci & Bildiren, 2020; Leoste & Heidmets, 2020), ma mancano ancora studi longitudinali che indaghino in profondità l'impatto della stessa quando integrata sistematicamente nel curricolo scolastico, con particolare attenzione alla co-progettazione tra ricercatori e insegnanti (Chiazzese *et al.*, 2019; Di Lieto *et al.*, 2020a). In parallelo, è stato approfondito il legame tra abilità visuo-spaziali e capacità di *problem solving*, attraverso un doppio canale di valutazione: da un lato le autovalutazioni degli alunni, dall'altro le valutazioni dei docenti. Questo confronto ha permesso di indagare la coerenza tra percezione soggettiva e la valutazione esterna, offrendo spunti interessanti sull'accuratezza metacognitiva dei bambini rispetto alle proprie competenze.

Oltre alle rilevazioni dei processi cognitivi implicati in tali attività, la ricerca, ha posto attenzione alla dimensione di genere con l'obiettivo di esplorare se la RE possa contribuire alla riduzione delle disparità tra studenti e studentesse nell'accesso e nella partecipazione alle discipline STEM. Studi recenti (Bagattini *et al.*, 2020; Sullivan & Bers, 2019) hanno sottolineato l'importanza di adottare, nell'ambito della RE, un approccio didattico orientato all'equità: che promuova ambienti collaborativi, tematiche neutre e abbia la consapevolezza dei condizionamenti legati ai ruoli di genere. In linea con le indicazioni di Bagattini e Miotti (2022), i laboratori di RE sono stati progettati includendo strategie e pratiche educative volte a valorizzare la

partecipazione femminile, decostruire gli stereotipi e valorizzare l'errore come occasione di apprendimento.
Il secondo ambito di indagine riguarda il potenziale inclusivo della RE, ovvero la sua capacità di favorire la partecipazione e l'apprendimento degli alunni con BES. In questa direzione, la ricerca ha approfondito le dinamiche relazionali e i processi di apprendimento esperienziale che si attivano nei laboratori di RE, ponendo attenzione all'interazione tra gli artefatti tecnologici e le dimensioni pedagogiche e socio-relazionali dell'ambiente classe. È stato altresì indagato il punto di vista diretto degli studenti, al fine di verificare eventuali cambiamenti nella loro percezione della RE. Tutti i materiali raccolti hanno consentito una riflessione continua sull'esperienza laboratoriale e hanno fornito elementi utili per adattare in itinere le attività, dando vita a un processo di progettazione flessibile, iterativo e centrato sui bisogni reali della classe. Infine, si è voluto verificare se e in che misura gli insegnanti abbiano rilevato cambiamenti negli atteggiamenti degli alunni e nel clima relazionale complessivo, a seguito dei laboratori. Il *focus group* finale e la partecipazione attiva dei docenti hanno consentito di evidenziare l'impatto della RE sia sull'apprendimento che sulle dinamiche socio-emotive, contribuendo a rafforzare la riflessione sulle pratiche didattiche percepite come realmente inclusive e capaci di incidere positivamente sull'esperienza educativa.

4.1.1 Metodologia e disegno sperimentale

Il lavoro di ricerca si fonda su un disegno convergente a fasi parallele (Trinchero & Robasto, 2019), riconducibile all'approccio *mixed method*, che integra strumenti e dati sia qualitativi che quantitativi per restituire una visione articolata del fenomeno indagato. Sebbene l'impianto generale sia unitario, l'analisi delle singole domande di ricerca rivela una struttura composita, assimilabile a una costellazione di micro-studi focalizzati su aspetti differenti dell'apprendimento, ciascuno supportato da un proprio impianto teorico e da strumenti di rilevazione specifici. Da un punto di vista metodologico, l'assenza di un gruppo di controllo e la non randomizzazione del campione impediscono di considerare la presente indagine come sperimentale in senso stretto. Secondo la distinzione proposta da Mortari e Ghirotto (2019), si configura piuttosto come una ricerca pre-sperimentale, in quanto realizzata su un unico gruppo di soggetti, con la somministrazione di un *pre-test*, un *post-test* e un *follow up*, senza l'assegnazione casuale dei partecipanti né la presenza di gruppi di controllo. Tale assetto, pur con minori garanzie di validità interna rispetto a un disegno sperimentale classico, ha comunque consentito un'esplorazione attendibile delle potenzialità educative della RE grazie all'impiego di strumenti standardizzati validati su campioni normativi italiani, omogenei per età e grado scolastico. La scelta di utilizzare test normati ha permesso, in parte, di compensare l'assenza di un gruppo di controllo, fornendo un termine di confronto attendibile per valutare l'impatto dell'intervento. La ricerca si è sviluppata in una sequenza di tre rilevazioni, condotte prima, immediatamente dopo e a distanza di alcune settimane dal termine dell'intervento laboratoriale, con l'obiettivo di monitorare eventuali cambiamenti nei processi cognitivi e di apprendimento degli alunni e di verificare la persistenza e la stabilità degli eventuali effetti.
Un aspetto centrale da cui la ricerca muove è la convinzione che sia effettivamente possibile integrare la RE nei curricoli scolastici, a tal fine è fondamentale esplorare le strategie didattiche

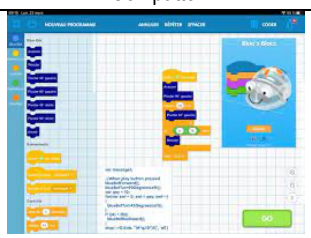
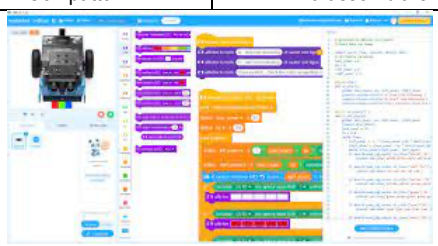
più efficaci, nonché gli atteggiamenti e le percezioni degli alunni e degli insegnanti nei confronti dell'introduzione della robotica in classe. La pianificazione dell'intervento ha previsto una verifica preliminare della sostenibilità in termini organizzativi e temporali, e si è fondata su un'approfondita fase esplorativa iniziale condotta in chiave idiografica (Trinchero, 2008). In tale fase, sono state effettuate osservazioni sul campo, analisi approfondite dei documenti istituzionali dell'Istituto scolastico (come il PTOF e il Piano di Miglioramento) e una revisione sistematica della letteratura scientifica, culminata in un lavoro di analisi degli articoli pubblicati in riviste italiane di fascia A (Bonaiuti *et al.*, 2022a). A seguire, sono stati organizzati *focus group* con docenti al fine di raccogliere rappresentazioni, idee e credenze relative all'uso della RE, mappando al contempo le politiche educative interne e le prassi didattiche esistenti. Questo processo ha favorito la costituzione di un gruppo di lavoro multidisciplinare, composto da insegnanti di diversi gradi scolastici, ricercatori ed educatori operanti nell'ambito dei BES. Nell'ambito dei lavori di tale gruppo è stata co-progettata con alcuni docenti un'Unità di Apprendimento (UdA) interdisciplinare fondata su un approccio euristico (Schön, 1983), ispirato all'apprendimento per scoperta e alla valorizzazione dell'errore come momento riflessivo. Le attività laboratoriali sono state progettate con l'obiettivo di sostenere lo sviluppo delle competenze logico-matematiche e delle FE, ma anche di promuovere un atteggiamento attivo e collaborativo da parte degli alunni. Il lavoro ha previsto l'uso integrato di strumenti quali test standardizzati, questionari per studenti e docenti, *focus group* al fine di raccogliere dati su più livelli e con differenti prospettive. È stata inoltre approfondita la variabile di genere (Bagattini *et al.*, 2020; Sullivan & Bers, 2019; Bagattini & Miotti, 2022), per esplorare in che modo la RE possa contribuire a superare stereotipi e barriere culturali, incoraggiando la partecipazione delle studentesse nei percorsi STEM. Particolare attenzione è stata, infine, rivolta al rapporto tra abilità visuo-spaziali e capacità di *problem solving*, indagando se e come le autovalutazioni degli alunni e le valutazioni degli insegnanti risultino tra loro congruenti. La co-progettazione riflessiva e partecipata ha favorito non solo l'implementazione di un laboratorio rispondente ai bisogni degli alunni e sostenibile per i docenti, ma ha incentivato anche lo sviluppo professionale del personale coinvolto, promuovendo una cultura dell'apprendimento continuo e trasformativo (Fabbri *et al.*, 2021). In sintesi, la ricerca ha permesso di osservare come la RE, se integrata intenzionalmente e progettata in coerenza con i curricoli scolastici, possa divenire un dispositivo didattico efficace non solo per il potenziamento di specifici apprendimenti, ma anche per la promozione di capacità cognitive e competenze trasversali.

4.1.2 Partecipanti

Lo studio ha coinvolto un campione di convenienza, non probabilistico, composto da 27 alunni (16 femmine; età media = 9.96 anni; ds=0.19), appartenenti a due classi quinte di una scuola primaria statale situata nel Sud Sardegna. La partecipazione al laboratorio di RE è stata complessivamente assidua: il 33% degli studenti ha preso parte a tutte le attività previste, il 37% ha partecipato al 90% degli incontri, il 19% all'80%, mentre solo una piccola percentuale (11%) ha registrato una frequenza pari al 70%. Il percorso laboratoriale si è sviluppato nell'arco di tre mesi per un totale di 20 ore, distribuite in due differenti *setting* didattici. La prima modalità, di tipo extracurricolare, ha previsto 15 ore di attività suddivise in sessioni da 90 minuti,

condotte da un docente esperto in robotica, affiancato da un tutor e da un'educatrice specializzata. La seconda modalità, curricolare, si è articolata in 5 ore complessive, distribuite in sessioni da 60 minuti, svolte in compresenza con insegnanti delle diverse discipline, inclusi i docenti di sostegno. Durante il laboratorio sono stati utilizzati tre diversi artefatti robotici: *Codey Rocky*, *Blue-Bot* e *mBot* (Tabella 9), ciascuno caratterizzato da specifiche funzionalità *hardware* e *software*.

Tabella 9. Robot educativi e ambienti di programmazione impiegati nel laboratorio di RE

Caratteristiche dei tre artefatti robotici utilizzati nei laboratori di RE			
Hardware del robot (Nome e produttore)			
	Blue-bot (TTS Group)	Codey Rocky (Makeblock)	m-Bot (Makeblock)
Tipologia di robot	Compatto	Compatto	Da assemblare
Interfaccia del software di programmazione (Immagine e nome)			
	Blue's blocs	mBlock5	
Modalità e linguaggio di programmazione	Programmabile anche senza l'uso del computer, grazie alla tastiera posizionata sul dorso del robot, che consente la memorizzazione fino a 40 comandi. È disponibile un'applicazione dedicata (*Blue's Blocs*) per la programmazione visuale a blocchi. La connessione è garantita tramite Bluetooth.	Programmabile da PC tramite il linguaggio a blocchi offerto dalla piattaforma mBlock. Dispone di oltre 10 moduli elettronici programmabili, inclusi sensori, ricevitore a infrarossi e display LED. Supporta tecnologie IoT e intelligenza artificiale, come il riconoscimento facciale e vocale.	Programmabile sia da PC che tramite app. Funziona in modalità wireless tramite chiavetta USB. Utilizza un linguaggio a blocchi basato su Scratch (mBlock), ma consente anche l'uso di linguaggio testuale. È compatibile con le schede Arduino.
Espansioni del robot	Accessori aggiuntivi come Blue-Bart e Blue-Bozer, percorsi tematici, gare a ostacoli e tasselli per lo svolgimento di calcoli matematici.	Compatibile con i kit Neuron e i mattoncini LEGO. Disponibili materiali didattici dedicati sia per l'insegnante che per lo studente.	Education Kit completo, che include sensori (tocco, suono, ultrasuoni, segui linea), motori, adattatori, matrici LED, potenziometro, telecomando a infrarossi, cavi e display LED.
Età	dai 3 anni in su	dai 6 anni in su	dagli 8 anni in su
Grado di scuola	Infanzia e Primaria	Primaria	Primaria e Secondaria
Finalità educative	Promuove il pensiero computazionale e le competenze spazio-temporali. Può essere integrato con espansioni per attività interdisciplinari e in ambito STEAM.	Favorisce l'apprendimento delle discipline STEM e lo sviluppo di competenze socio-emotive.	Supporta l'apprendimento in ambito STEAM e lo sviluppo di abilità prassico-motorie.

L'impiego di più robot, con livelli di difficoltà crescente, ha reso possibile una selezione mirata del dispositivo in base agli obiettivi didattici e alle esigenze educative specifiche. Tutti gli

ambienti di programmazione associati ai robot adottavano un linguaggio visuale a blocchi testuali, una modalità particolarmente adatta all'insegnamento del coding nella scuola primaria (Piedade *et al.*, 2019).

4.1.3 Procedura di ricerca

Prima dell'avvio del laboratorio di RE, gli alunni sono stati sottoposti a una rilevazione iniziale (t_0) mediante un pre test finalizzato a valutare le FE e le abilità di *problem solving* aritmetico. Contestualmente, è stato somministrato un questionario per raccogliere la loro percezione sulle attività di RE. Tenendo in considerazione le prime rilevazioni è stato avviato il laboratorio, progettato con i docenti coerentemente con la programmazione didattica in atto. Nell'ultima giornata, i genitori sono stati coinvolti attivamente, con gli studenti nel ruolo di *tutor*, favorendo un momento di condivisione e di restituzione dell'esperienza. Al termine del laboratorio, è stato somministrato un post-test (t_1) utilizzando le medesime prove per valutare i cambiamenti nelle FE e nelle competenze di *problem solving*. A distanza di sei mesi, è stato realizzato un *follow up* (t_2) per misurare la persistenza degli effetti nel tempo. Il disegno di ricerca ha dunque permesso di analizzare l'impatto dei laboratori di RE sul piano cognitivo e dell'apprendimento, verificando l'eventuale miglioramento delle FE e delle abilità matematiche. Parallelamente, sono stati raccolti dati qualitativi attraverso *focus group* e interviste semi-strutturate ai docenti, con l'obiettivo di esplorare l'incidenza della RE sui processi educativi e valutare il suo potenziale impatto sulla didattica d'aula. La partecipazione allo studio è stata subordinata all'acquisizione del consenso informato scritto, espresso preventivamente da entrambi i genitori di ciascun alunno coinvolto.

4.1.4 Strumenti di ricerca

Gli strumenti di ricerca impiegati (Tabella 10) comprendono metodologie sia quantitative (test standardizzati per le FE e questionari) sia qualitative (interviste, *focus group*). La scelta combinata di strumenti ha avuto l'obiettivo di valutare non solo il potenziamento delle abilità di *problem solving* e pianificazione, ma anche eventuali cambiamenti in dimensioni trasversali legate ai processi di apprendimento e inclusione.
Per la valutazione della capacità di risoluzione dei problemi aritmetici sono state utilizzate le prove AC-MT 6-11 (Cornoldi *et al.*, 2020), mentre il *problem solving* e la pianificazione strategica sono stati indagati tramite il test della Torre di Londra (*Tower of London* - ToL) (Fancello *et al.*, 2013). Le FE di base, secondo il modello di Diamond (2013), sono state indagate attraverso una serie di strumenti specifici: l'inibizione motoria è stata valutata attraverso il Test delle Ranette, mentre quella cognitiva tramite lo *Stroop Test* numerico, entrambi estratti dalla Batteria Italiana per l'ADHD (Marzocchi *et al.*, 2010); la flessibilità cognitiva è stata misurata con il *Modified Card Sorting Test* (MCST) (Cianchetti *et al.*, 2007); infine, le abilità visuo-spaziali sono state esplorate con il questionario *Shortened Visual-Spatial* (SVS), somministrato sia agli alunni (Ferrara & Mammarella, 2013) sia agli insegnanti (Cornoldi *et al.*, 2003).

Sebbene ciascuna prova indaghi molteplici aspetti della cognizione, per chiarezza espositiva si farà riferimento, come da prassi in letteratura, alla funzione esecutiva maggiormente implicata, riconoscendo tuttavia l'interconnessione tra i diversi processi cognitivi.
Al termine dell'intervento, è stata inoltre realizzata un'indagine qualitativa mediante due *focus group* e interviste semi-strutturate, condotte tramite la piattaforma G-Suite della scuola, con l'obiettivo di esplorare le percezioni del corpo docente riguardo all'impatto educativo della robotica. Per facilitare la comprensione, la Tabella 10 presenta una sintesi degli strumenti principali impiegati, mentre i paragrafi successivi offrono una descrizione concisa di ciascuno.

Tabella 10. Strumenti di raccolta dati impiegati

Dimensioni valutate	Fattori indagati	Strumenti impiegati
Apprendimento matematico	*Problem solving* aritmetico	AC-MT 6-11 in Cornoldi et al., 2020
Funzioni esecutive	Problem solving e pianificazione	Torre di Londra (TOL) in Fancello et al., 2013
	Componenti inibitorie	Test delle ranette; *Stroop test* numerico (Batteria Italiana per l'ADHD – BIA) in Marzocchi et al., 2010
	Flessibilità cognitiva	*Modified Card Sorting Test* (MCST) in Cianchetti et al., 2007
	Abilità visuo-spaziale e apprendimento matematico	*Shortened Visuo-Spatial* (SVS) insegnanti in Cornoldi et al., 2003; e alunni in Ferrara & Mammarella, 2013
Percezione della RE	Aspetti legati alla percezione della RE e del robot	Questionario implementato dall'autrice
Inclusione	Aspetti legati alla sfera emotivo-motivazione e socio-relazionale	*Focus group* e interviste semi strutturate
Impatto didattico	Impatto della RE nella didattica	

4.1.4.1 Valutazione del funzionamento esecutivo

La valutazione del funzionamento esecutivo è stata condotta attraverso un *corpus* integrato di strumenti standardizzati e validati nel contesto italiano. In particolare, sono state indagate le principali componenti delle FE – quali l'inibizione motoria e cognitiva, la flessibilità cognitiva, le abilità visuo-spaziali, la pianificazione e il *problem solving* – attraverso batterie di test specifiche per ciascun dominio. Di seguito si propone una sintesi delle prove utilizzate, mentre una trattazione più dettagliata è stata oggetto di approfondimento nel lavoro dottorale di Marras (2023).

Per la valutazione dell'inibizione motoria è stato impiegato il *Test delle Ranette* (Marzocchi *et al*., 2010) che consente di misurare l'attenzione selettiva e sostenuta, e la capacità di inibire risposte motorie automatiche. La prova, concepita con un formato ludico, si basa sull'ascolto di una traccia audio che presenta due suoni distinti ma molto simili: gli alunni devono discriminare tra i due suoni e agire di conseguenza, favorendo un monitoraggio costante delle risposte motorie e una soppressione efficace degli impulsi automatici. Parallelamente, l'inibizione cognitiva è stata valutata tramite lo *Stroop Test* numerico, che misura la capacità di inibire una risposta automatica, richiedendo all'alunno di indicare il numero reale di stimoli presenti in un insieme, ignorando la cifra scritta che lo potrebbe indurre in errore,

creando interferenza. La somministrazione si articola in una fase *baseline* seguita da una fase sperimentale, e consente di rilevare sia i tempi di risposta che gli errori di interferenza e di conteggio.
Per esplorare le competenze relative alla pianificazione e al *problem solving* è stata adottata la Torre di Londra nella versione nella versione validata su un campione italiano (Fancello *et al*., 2013), uno strumento ampiamente riconosciuto per la valutazione delle strategie esecutive di pianificazione. La prova prevede la risoluzione di problemi mediante l'ordinamento di tre palline colorate su tre aste di diversa lunghezza, rispettando un numero massimo di mosse e regole prestabilite. Oltre alla capacità di pianificazione, il test rileva anche il tempo decisionale e di esecuzione, fornendo un quadro articolato della strategia risolutiva adottata.
Per quanto riguarda la flessibilità cognitiva, è stato utilizzato il *Modified Card Sorting Test* (MCST) (Cianchetti *et al*., 2007), versione semplificata del *Wisconsin Card Sorting Test* che misura la capacità del soggetto di modificare una strategia di categorizzazione in risposta a *feedback* ricevuti, valutando in particolare l'efficienza categoriale e la presenza di errori perseverativi, indici rilevanti della flessibilità cognitiva. La semplicità di somministrazione e la struttura chiara e non ambigua del compito rendono il test particolarmente adatto all'utilizzo in età evolutiva.
Infine, le abilità visuo-spaziali, fortemente connesse alle FE e all'apprendimento matematico, sono state rilevate attraverso il Questionario *Shortened Visuo-Spatial* (SVS), somministrato sia agli insegnanti (Cornoldi *et al*., 2003) che agli alunni (Ferrara & Mammarella, 2013). La versione per docenti permette di individuare precocemente difficoltà visuo-spaziali attraverso l'osservazione di comportamenti scolastici e sociali rilevanti, mentre quella rivolta agli studenti consente una valutazione soggettiva delle proprie abilità, restituendo un quadro complementare e più articolato del profilo cognitivo. Entrambe le versioni adottano una scala *Likert* e sono strutturate in *item* che indagano dimensioni come l'orientamento spaziale, la coordinazione visuo-motoria, l'attenzione, l'apprendimento e le relazioni sociali.
Nel complesso, l'architettura degli strumenti selezionati ha permesso di rilevare in modo approfondito e articolato i cambiamenti nel funzionamento esecutivo degli alunni, garantendo al contempo una coerenza metodologica tra l'impianto teorico della ricerca e le modalità di rilevazione adottate.

4.1.4.2 Valutazione del ragionamento aritmetico e dimensioni didattico-percettive

Per la valutazione delle abilità di ragionamento aritmetico e di risoluzione dei problemi matematici è stato impiegato il test AC-MT 6-11 (Cornoldi *et al*., 2020), strumento validato a livello nazionale e ampiamente riconosciuto nel contesto educativo italiano. Il test consente non solo di quantificare le abilità matematiche sulla base di indicatori statistici (media, ds, percentili), ma anche di collocare ciascun alunno in fasce prestazionali (ottimale, nella media, attenzione e intervento) che facilitano l'interpretazione dei risultati anche per i non addetti i lavori. La semplicità della somministrazione collettiva e della correzione rende, infatti, questo strumento accessibile a tutti i docenti, indipendentemente dalla loro esperienza nell'ambito della valutazione. Ai fini della ricerca è stata analizzata solo la sezione relativa al *problem solving*

aritmetico, composta da cinque problemi a difficoltà crescente che richiedono l'impiego delle quattro operazioni di base e di competenze logiche e di ragionamento.

Sono stati raccolti anche dati qualitativi, in particolare, due *focus group* che hanno coinvolto rispettivamente l'intero consiglio di classe delle sezioni sperimentali (composto da sette docenti di discipline differenti, inclusa la docente per il sostegno) e cinque figure educative coinvolte nei laboratori di robotica. Successivamente, sono state condotte due interviste semi-strutturate, con l'educatrice e la docente specializzata nella didattica inclusiva, integrando così una visione più articolata e complessiva sull'impatto percepito della RE nella quotidianità scolastica.

Per quanto riguarda la percezione soggettiva degli alunni rispetto alla RE, è stato elaborato un questionario *ad hoc* composto da 18 item su scala Likert a cinque punti. Lo strumento ha indagato differenti dimensioni: impressioni generali sui robot, *problem solving*, collaborazione, interesse per la tecnologia e percezione del ruolo del robot in classe. I contenuti del questionario si basano su precedenti contributi della letteratura (es. Lin *et al*., 2009; Bernstein & Crowley, 2008) e sono stati somministrati in due fasi, *ex ante* ed *ex post*, al fine di rilevare eventuali variazioni nella percezione in seguito alla partecipazione ai laboratori.

Infine, durante l'ultimo incontro laboratoriale, è stato proposto un questionario conclusivo, comprensivo di una sezione sul benessere scolastico. Tale rilevazione ha preso in esame la percezione del clima di classe, il senso di appartenenza, le emozioni prevalenti durante le attività e le relazioni con pari e docenti. A questa fase hanno preso parte anche le famiglie degli alunni, coinvolte attivamente in un'esperienza laboratoriale congiunta. In tale occasione, gli studenti hanno assunto il ruolo di tutor, illustrando ai genitori le competenze apprese. L'attività ha inteso esplorare anche gli atteggiamenti e le rappresentazioni delle famiglie nei confronti della RE, favorendo una riflessione condivisa tra scuola, alunni e genitori, con l'obiettivo di promuovere un modello didattico inclusivo e partecipato (Marras *et al*., 2025).

4.1.5 Protocollo: ambiente e clima nei laboratori di RE

Le attività didattiche sono state progettate con l'intento di favorire un clima di classe positivo, collaborativo e solidale, riconoscendo quanto tale fattore influisca sulla qualità dell'apprendimento (Cottini, 2018). La costruzione di un ambiente relazionale efficace si è basata su tre elementi chiave: la qualità delle relazioni tra pari e con i docenti, il coinvolgimento attivo di tutti gli alunni e una gestione partecipativa della classe, orientata alla negoziazione di regole condivise (Mitchell & Sutherland, 2020). Il laboratorio è stato progettato secondo i principi dell'*Universal Design for Learning*, ogni attività è stata inoltre accompagnata da schede guida personalizzate, utili a supportare la comprensione delle consegne e a favorire il lavoro autonomo. Il modello EAS (Rivoltella, 2013) ha ispirato la tripartizione di ogni incontro in una fase preparatoria, una operatoria e una riflessiva, garantendo rigore metodologico (Tabella 11).

Nel corso dei laboratori è stato adottato un approccio iterativo, con modifiche progettuali in itinere basate sul monitoraggio costante delle dinamiche di gruppo e dei bisogni educativi rilevati. Sono stati utilizzati tre diversi robot (*Blue-Bot*, *Codey Rocky* e *m-Bot*), affiancati da due ambienti di programmazione a blocchi (*Blue's blocs* e *mBlock*), selezionati in funzione della progressiva complessità cognitiva e motoria richiesta dalle attività. I primi laboratori sono stati

dedicati all'acquisizione delle basi del *coding* attraverso percorsi geometrici, problemi aritmetici e ambienti digitali collaborativi, mentre nei laboratori successivi si è passati alla programmazione strutturata e al montaggio dei robot, fino alla creazione di progetti personalizzati. È stata data la possibilità di scrivere il codice in modalità *unplugged* prima di programmare il robot attraverso i tasti *on board* o negli ambienti di programmazione. Gli alunni hanno lavorato in coppia. La letteratura segnala che compiti brevi e collaborativi (*pair-programming*), con esplicitazione iniziale, *problem-solving* su tappeto e riflessione finale, favoriscono anche passaggi funzionali tra *frame* di riferimento, a supporto di correzioni e giustificazioni del codice (Clarke-Midura *et al.*, 2021). Tutte le attività laboratoriali sono state pensate in un'ottica inclusiva e personalizzata, al fine di rispondere ai bisogni educativi di tutti e di ciascuno (Syriopoulou-Delli & Gkiolnta, 2021). Le strategie adottate hanno incluso adattamenti sia comportamentali, tra cui pause strutturate, *Token Economy*, *Task Analysis*; che cognitivi come schede guida, carte *Cody Roby* (Bogliolo, 2020), semplificazioni, promuovendo in tal modo la cultura del compito (Tortello *et al.*, 1999) e valorizzando la partecipazione attiva e responsabile degli alunni. Il laboratorio si è concluso con un'esperienza di apprendimento intergenerazionale che ha rafforzato la corresponsabilità educativa e il senso di comunità scolastica.

Tabella 11. Modalità di intervento didattico e fasi degli incontri di RE

Fase	Fase 1 – Anticipazione	Fase 2 – Produzione	Fase 3 – Riflessione
Durata	10 minuti	1 ora	20 minuti
Descrizione della fase	In questa fase introduttiva si richiamano le conoscenze pregresse per introdurre nuovi concetti legati all'informatica, alle tecnologie e ai materiali di programmazione. Gli alunni sono incoraggiati a partecipare attivamente, esprimendo dubbi, osservazioni e proposte.	Fase centrale e operativa, caratterizzata da un approccio collaborativo ed esplorativo, sia virtuale che pratico. Gli alunni, organizzati in piccoli gruppi o a coppie, sviluppano un progetto condiviso o risolvono un problema, apprendendo attraverso il confronto e l'aiuto reciproco. Questa fase può essere articolata in tre sotto-momenti: 1. programmazione, 2. test delle soluzioni, 3. debugging degli errori.	Fase conclusiva di debriefing e riflessione. Gli alunni presentano gli artefatti realizzati e ne verificano il funzionamento. La condivisione con i pari favorisce la riflessione critica sul processo e sul risultato. L'incontro si conclude un'autovalutazione.
Azioni docenti	Introduzione degli obiettivi e delle consegne. Distribuzione dei materiali predisposti. Attivazione del coinvolgimento iniziale.	Definizione dei tempi e delle modalità operative. Costituzione dei gruppi di lavoro. Assunzione del ruolo di facilitatore, supportando il processo di scoperta.	Osservazione e valutazione formativa. Correzione di eventuali misconcezioni. Consolidamento degli apprendimenti e dei concetti chiave.
Azioni alunni	Ascolto attivo, lettura e comprensione delle consegne. Individuazione del problema (*problem finding*). Attivazione della curiosità e della motivazione.	Realizzazione degli artefatti, condivisione di idee, confronto sulle soluzioni. Collaborazione nei gruppi e sperimentazione diretta.	Analisi critica dell'esperienza, riflessione sui processi attivati. Esplicitazione del proprio percorso cognitivo e metacognitivo. Avvio dell'autovalutazione.
Logica didattica sottesa	*Brainstorming*, *problem setting* e *problem posing*. Attivazione della motivazione.	*Learning by doing*, *collaborative learning*, *project-based learning*. Costruzione cooperativa del sapere.	*Reflective learning*, *circle time*, metacognizione. Costruzione del significato attraverso la rielaborazione.

4.1.6 Analisi dei dati

I dati raccolti sono stati analizzati attraverso il *software open-source Jamovi* per Mac (versione 2.3). Le differenze nei punteggi relativi alle dimensioni indagate sono state esplorate mediante analisi della varianza a misure ripetute con disegno misto (*mixed design ANOVA*), utilizzando il tempo di rilevazione (t_0=pre-test, t_1=post-test, t_2=*follow up*) come variabile intra-soggetto e, di volta in volta, variabili categoriali come il genere come fattori inter-soggetto. Questo tipo di analisi ha permesso di verificare l'efficacia dei laboratori di RE sul potenziamento delle FE e del *problem solving* aritmetico. L'effetto di maggiore interesse ha riguardato l'interazione tra il tempo e i gruppi di appartenenza. Le dimensioni dell'effetto sono state calcolate mediante η^2 *parziale*, secondo la formula standard [SSeffect / (SSeffect + SSerror)].
Il questionario SVS, somministrato sia agli alunni sia agli insegnanti, è stato analizzato con *t-test* per campioni appaiati (t_0 vs t_1), al fine di rilevare variazioni significative pre e post laboratorio. Una successiva ANOVA a disegno misto ha valutato l'eventuale effetto del genere sulle *performance* cognitive, ma non sono emerse interazioni statisticamente significative tra il tempo e la variabile di genere; pertanto, tali risultati non sono stati inclusi nel corpo centrale del testo. Un'ulteriore analisi ha previsto l'utilizzo del *t-test* per campione singolo, con l'obiettivo di confrontare i punteggi ottenuti dal campione sperimentale con quelli normativi indicati nei manuali dei test adottati. Le analisi inferenziali hanno riguardato una popolazione di 26 studenti. L'alunna con disabilità non è stata inclusa nelle elaborazioni statistiche per ragioni metodologiche: in alcuni casi non ha potuto partecipare alle rilevazioni standardizzate, mentre in altri il protocollo non è stato rigorosamente rispettato o le prove utilizzate risultavano non comparabili per livello di difficoltà o struttura.

Per i dati di natura qualitativa e percettiva, sono state applicate analisi descrittive basate su frequenze e percentuali. Il questionario relativo alla percezione degli alunni sulla RE, somministrato in due momenti (t_0 e t_1), è stato analizzato anch'esso mediante statistiche descrittive per visualizzare eventuali variazioni di atteggiamento. Infine, i dati emersi dalle interviste e dai *focus group* sono stati analizzati attraverso un approccio contenutistico e tematico. Il materiale audio è stato trascritto e successivamente codificato per individuare nuclei tematici ricorrenti, rappresentazioni condivise e percezioni diffuse tra i docenti in merito all'impatto del laboratorio di RE. Nei sottoparagrafi successivi i risultati qualitativi sono stati sistematizzati in un resoconto tematico a sostegno delle osservazioni e percezioni dei docenti.

4.1.7 Risultati

Alla luce delle evidenze riportate in letteratura e del disegno adottato, ci si attendevano miglioramenti significativi nelle prove di controllo inibitorio, pianificazione e tempi di esecuzione, mentre erano considerate più incerte le variazioni nelle prestazioni di flessibilità cognitiva e categorizzazione, dato il limitato numero di sessioni e la complessità delle abilità coinvolte. I risultati presentati in questo paragrafo forniscono risposte ai primi quesiti di ricerca, relativi al potenziamento delle abilità di *problem solving* aritmetico e delle FE degli alunni coinvolti. In corrispondenza dei tre momenti di rilevazione – pre-test (t_0), post-test (t_1) e *follow up* (t_2) – sono stati somministrati tutti gli strumenti presentati, con l'obiettivo di misurare in modo

sistematico il funzionamento esecutivo degli studenti. Le procedure di analisi dei dati hanno consentito di verificare l'impatto del percorso laboratoriale sulla crescita delle funzioni indagate, valutando se gli eventuali miglioramenti osservati potessero considerarsi statisticamente significativi.

4.1.7.1 Funzionamento esecutivo, abilità visuo-spaziali e problem solving aritmetico

L'analisi dei dati relativi alle FE mostra risultati significativi in diverse dimensioni cognitive misurate nei tre tempi di rilevazione: pre-test (t_0), post-test (t_1) e *follow up* (t_2).

Per quanto riguarda il *problem solving* aritmetico, valutato con le prove AC-MT (Cornoldi *et al*., 2020), si osserva un miglioramento nei punteggi medi tra il pre (m=3.62; ds=2.25) e il post test (m=4.65; ds=2.40), con una leggera flessione al *follow up* (m=4.54; ds=1.84), pur restando al di sopra del livello iniziale. L'ANOVA a misure ripetute segnala un effetto del tempo tendente alla significatività ($F(2,25)=3.12$; $p=.053$; $\eta^2_p=.111$). In termini qualitativi, la percentuale degli alunni nella fascia ottimale è aumentata (dal 27% al 38%), così come quella nella media (dal 31% al 38%), mentre diminuiscono gli alunni nella fascia "richiesta di attenzione" (dal 42% al 31%). Il t-test per campione singolo non ha rilevato differenze significative rispetto ai punteggi normativi (t_0: $t=-1.05$, $p=.302$, $\eta^2_p=.207$; t_1: $t=1.22$, $p=.234$, $\eta^2_p=.239$; t_2: $t=1.27$, $p=.215$, $\eta^2_p=.249$).

Il Test delle Ranette (Marzocchi *et al*., 2010), utilizzato per misurare l'inibizione motoria, evidenzia un miglioramento significativo nel tempo ($F(2,25)=6.79$; $p=.002$; $\eta^2_p=.214$), con punteggi medi in crescita (t_0: m=16.6; ds=2.86; t_1: m=17.9; ds=2.12; t_2: m=18.8; ds=1.52). Il confronto con il campione normativo mostra differenze significative a partire dal post-test (t_0: $t=0.224$, $p=.825$, $\eta^2_p=.0439$; t_1: $t=3.455$, $p=.002$, $\eta^2_p=.6775$; t_2: $t=7.756$, $p<.001$, $\eta^2_p=1.5211$).

Anche i risultati della Torre di Londra (Fancello *et al*., 2013), impiegata per valutare la pianificazione e la strategia risolutiva, mostrano un miglioramento nella precisione (t_0: m=27.8; ds=3.74; t_1: m=28.6; ds=4.18; t_2: m=30.2; ds=2.78) con significatività ($F(2,25)=3.66$; $p=.033$; $\eta^2_p=.128$), nei tempi di esecuzione ($F(2,25)=10.5$; $p<.001$; $\eta^2_p=.296$) e nel tempo totale ($F(2,25)=20.1$; $p<.001$; $\eta^2_p=.445$). I t-test per campione singolo confermano una differenza significativa tra i punteggi del campione sperimentale e quelli normativi nei tempi di esecuzione in tutti e tre i momenti (t_0: $t=-6.58$, $p<.001$, $\eta^2_p=1.29$; t_1: $t=-16.77$, $p<.001$, $\eta^2_p=3.29$; t_2: $t=-24.85$, $p<.001$, $\eta^2_p=4.87$), e per il tempo totale (t_0: $t=-5.90$, $p<.001$, $\eta^2_p=1.16$; t_1: $t=-14.55$, $p<.001$, $\eta^2_p=2.85$; t_2: $t=-13.94$, $p<.001$, $\eta^2_p=2.73$).

Lo *Stroop* test numerico mostra significatività nei tempi totali di esecuzione ($F(2,25)=21.9$; $p<.001$; $\eta^2_p=.467$), con una diminuzione progressiva (t_0: m=98.7; ds=17.91; t_1: m=88.7; ds=17.77; t_2: m=81.8; ds=14.95), e negli errori di interferenza ($F(2,25)=5.22$; $p=.009$; $\eta^2_p=.173$). Il tempo di interferenza e gli errori di conteggio, seppur in calo, non risultano significativi. Il confronto con il campione normativo evidenzia differenze significative negli errori di interferenza a partire da t_1 (t_0: $t=-0.972$, $p=.340$, $\eta^2_p=.191$; t_1: $t=-3.420$, $p=.002$, $\eta^2_p=.671$; t_2: $t=-8.994$, $p<.001$, $\eta^2_p=1.764$).

Infine, il *Modified Card Sorting Test* (MCST) (Cianchetti *et al*., 2007) evidenzia un significativo miglioramento nella riduzione degli errori totali ($F(2,25)=6.73$; $p=.003$; $\eta^2_p=.212$), perseverativi ($F(2,25)=5.36$; $p=.008$; $\eta^2_p=.177$) e non perseverativi ($F(2,25)=4.22$; $p=.020$; $\eta^2_p=.145$). Anche il tempo di esecuzione della prova mostra una significativa diminuzione ($F(2,25)=10.2$; $p<.001$; $\eta^2_p=.290$). Sebbene l'aumento nel numero di categorie completate e nell'efficienza categoriale non sia statisticamente significativo, i t-test per campione singolo mostrano differenze rilevanti rispetto al gruppo normativo in tutte le rilevazioni (categorie: t_0: $t=3.65$, $p=.001$, $\eta^2_p=.716$; t_1: $t=5.44$, $p<.001$, $\eta^2_p=1.066$; t_2: $t=9.42$, $p<.001$, $\eta^2_p=1.847$; efficienza: t_0: $t=3.63$, $p=.001$, $\eta^2_p=.712$; t_1: $t=6.40$, $p<.001$, $\eta^2_p=1.255$; t_2: $t=7.22$, $p<.001$, $\eta^2_p=1.416$).
Nel complesso, i dati confermano l'efficacia dei laboratori di RE nel potenziare diverse componenti delle FE, con miglioramenti significativi in particolare nell'inibizione motoria e cognitiva, nella pianificazione e nella regolazione del comportamento, che si mantengono stabili o migliorano ulteriormente nel tempo.

L'analisi dei dati raccolti tramite i questionari *Shortened Visuo-Spatial* (SVS), somministrati sia agli alunni che agli insegnanti, è stata condotta a livello descrittivo e inferenziale, includendo il t-test per campioni appaiati e il calcolo dell'*effect size* parziale (η^2_p), al fine di valutare l'eventuale significatività delle differenze rilevate tra le due somministrazioni (pre e post intervento).
Per quanto riguarda i questionari compilati dagli alunni, è stato rilevato un incremento tendenzialmente positivo nell'indice relativo alle abilità visuo-spaziali, con un punteggio medio pari a 19.42 (ds=2.745) nella rilevazione pre e 20.23 (ds=2.582) in quella post intervento. Tuttavia, tale miglioramento non ha raggiunto la significatività statistica ($p=.094$), e anche gli altri indici considerati (abilità verbali, apprendimento, ADHD, abilità sociali) non mostrano variazioni significative tra i due tempi.
Al contrario, i questionari SVS compilati dagli insegnanti evidenziano miglioramenti statisticamente significativi in due aree fondamentali: le competenze visuo-spaziali, con un incremento della media da 34.15 (ds=6.703) a 36.62 (ds=4.234), e l'apprendimento matematico, da 3.27 (ds=0.724) a 3.65 (ds=0.485). Entrambi i miglioramenti risultano significativi con $p=.002$, e in particolare la dimensione dell'effetto nelle abilità visuo-spaziali è molto elevata ($\eta^2_p = .854$). Gli altri indici riportano variazioni meno rilevanti ma comunque orientate positivamente. In particolare, si osserva un leggero aumento nell'area ADHD (pre: m=3.15; ds=1.994; post: m=3.54, ds=1.702) e nelle capacità cognitive (pre: m=3.38; ds=0.571; post: m=3.54; ds=0.706). Gli indici relativi alle abilità sociali e all'appartenenza a un ambiente sociale svantaggiato non mostrano cambiamenti sostanziali.
A supporto di questi risultati, è stata condotta un'ulteriore analisi inferenziale con t-test per campione singolo, volta a confrontare i punteggi medi del campione sperimentale con quelli normativi forniti da Cornoldi e colleghi (2003), relativamente all'indice di abilità visuo-spaziale. I punteggi medi degli insegnanti nel presente studio risultano superiori rispetto a quelli del campione normativo (m=31.09; ds=7.10), in linea anche con i dati rilevati precedentemente in scuole sarde da Fastame e Penna (2013). Il confronto tra campione sperimentale e normativo mostra differenze statisticamente significative sia nella rilevazione pre ($t=2.33$, $p=.028$, $\eta^2_p =$

.457), con una dimensione dell'effetto contenuta, sia in quella post ($t=6.65$, $p<.001$, $\eta^2_p = 1.305$), in cui l'effetto è ampio e conferma un impatto positivo dell'intervento laboratoriale sulle abilità visuo-spaziali percepite dagli insegnanti.
Nel complesso, i risultati suggeriscono una percezione positiva e in miglioramento da parte del corpo docente in merito alle abilità cognitive e visuo-spaziali degli alunni, e un parziale riconoscimento di tali progressi anche da parte degli studenti, benché non sempre confermati da dati statisticamente significativi. In sintesi, i risultati confermano l'impatto positivo della RE su alcuni processi cardine del funzionamento esecutivo, in particolare sul piano inibitorio e di pianificazione, mentre restano più sfumati gli effetti sulle abilità di categorizzazione e flessibilità cognitiva. Questi dati suggeriscono che i benefici della RE emergono più chiaramente nelle dimensioni legate al controllo e all'organizzazione delle azioni, offrendo uno sfondo utile per interpretare le percezioni degli studenti sul robot e sulla RE, analizzate nella sezione successiva.

4.1.7.2 La percezione degli studenti sulla RE e sui robot

Un ambito di particolare rilievo nell'indagine ha riguardato la percezione degli alunni rispetto alla RE, con l'obiettivo di esplorarne non solo l'interesse generale per la tecnologia e il ruolo attribuito ai robot in un contesto scolastico, ma anche gli aspetti cognitivi e relazionali ad essa connessi, quali il *problem solving* e la collaborazione. La somministrazione del questionario in due tempi (pre e post intervento) ha consentito di rilevare in maniera puntuale eventuali mutamenti di atteggiamento derivanti dalla partecipazione alle attività laboratoriali.

Per quanto concerne le rappresentazioni generali del robot, emerge una sostanziale stabilità nella convinzione che il dispositivo segua delle regole (96% in entrambe le rilevazioni). Relativamente all'attribuzione di intelligenza al robot, le opinioni restano articolate: il 46% degli alunni, nel pre-test, riteneva che il robot non fosse più intelligente di loro, percentuale che sale al 50% nel post-test; al contempo, cresce anche il numero di coloro che sostengono l'opposto (dal 31% al 35%). Rilevante è l'aumento di alunni che attribuiscono al robot la capacità di apprendere, dal 50% iniziale al 62% dopo l'intervento.
Le opinioni sul carattere "ludico" del robot evidenziano una trasformazione interessante: inizialmente, il 50% degli alunni non lo considerava assimilabile a un giocattolo, mentre dopo il laboratorio la maggioranza (62%) lo percepisce come tale. In merito all'antropomorfizzazione del robot, si osserva una riduzione della percentuale di studenti che lo assimilano a un bambino (dal 19% al 12%) e una diminuzione più marcata di coloro che negano tale associazione (dal 65% al 46%), a fronte di un significativo aumento dell'indecisione (dal 15% al 42%).
L'attività laboratoriale ha evidenziato un contributo nello sviluppo di atteggiamenti maggiormente favorevoli verso il *problem solving*: cresce, infatti, la percentuale di alunni a cui piace confrontarsi con problemi complessi (dal 58% al 73%) e di coloro che dichiarano di affrontarli scomponendoli in passaggi più gestibili (dal 77% all'81%). Parallelamente, la dimensione collaborativa riceve un riscontro molto positivo: la quasi totalità degli studenti afferma di apprezzare il confronto con i pari nella fase di pianificazione delle strategie risolutive (dall'81% al 96%) e di ricorrere all'aiuto dei compagni in caso di difficoltà (dall'81% all'85%).

Sul piano dell'interesse verso la tecnologia e la robotica, si registra un'adesione unanime: al termine del percorso, tutti gli alunni affermano di considerare le attività con i robot divertenti e stimolanti. Il 96% si dichiara inoltre entusiasta di apprendere l'uso di nuove tecnologie. Tuttavia, si osserva una leggera flessione nella percezione dell'autoefficacia: se nel pre-test il 77% degli alunni si considerava competente nell'uso della robotica, tale percentuale scende al 58% dopo il laboratorio. Aumenta parallelamente sia il numero di coloro che non si ritengono abili (+8%) sia quello di chi si dichiara incerto (dal 23% al 35%), suggerendo una maggiore consapevolezza circa la complessità delle competenze richieste.
Il riconoscimento del potenziale della RE nel futuro professionale è significativamente aumentato: la quota di alunni che ritiene che le competenze apprese potranno essere utili nel lavoro è passata dal 58% all'81%, mentre nessuno ha espresso disaccordo nel post-test (contro il 12% iniziale). Rispetto all'impatto sulle discipline scolastiche, il 50% degli studenti ritiene che la RE possa favorire la comprensione delle materie curricolari (contro il 46% iniziale), mentre il 35% mantiene una posizione neutra. Tuttavia, cresce lievemente il numero di coloro che non ne percepiscono l'utilità (dal 8% al 15%).
Infine, le opinioni sul ruolo del robot in aula mostrano un andamento ambivalente. Il desiderio di avere un robot come compagno di classe si riduce (dal 50% al 46%), mentre il disaccordo in merito aumenta (dal 19% al 31%). Analogamente, la percentuale di alunni che considerano il robot un potenziale insegnante aumenta (dal 38% al 46%), ma anche quella di coloro che ritengono non possa svolgere adeguatamente tale funzione (dal 19% al 31%).
Nel complesso, i dati mostrano che l'esperienza laboratoriale ha favorito un atteggiamento generalmente positivo e più consapevole verso la RE. Gli alunni appaiono maggiormente coinvolti e motivati, ma anche più critici e riflessivi rispetto al ruolo effettivo e alle potenzialità del robot in ambito didattico. Oltre alle percezioni dirette degli studenti, è emerso utile analizzare le prospettive dei docenti che hanno partecipato alla sperimentazione, in quanto offrono un ulteriore livello di triangolazione dei dati.

4.1.7.3 L'impatto dei laboratori nella didattica

L'analisi qualitativa ha permesso di approfondire l'impatto della RE sui processi di insegnamento-apprendimento e sull'inclusione scolastica. Un caso emblematico è rappresentato dalla partecipazione di un'alunna con BES, per la quale l'intervento laboratoriale si è configurato come esperienza fortemente abilitante. Sebbene non sempre sia stato possibile rispettare i protocolli standard di valutazione, l'alunna ha mostrato un coinvolgimento crescente, manifestando autonomia, motivazione e un'attiva partecipazione alle attività, in particolare durante compiti introduttivi con il robot, vissuti anche emotivamente in modo positivo.
Le testimonianze dei docenti, raccolte nei *focus group* e nelle interviste semi-strutturate, sottolineano l'efficacia didattica del laboratorio non solo in termini di apprendimento disciplinare, ma soprattutto per la promozione di pratiche inclusive. Le attività proposte hanno favorito il *peer tutoring*, il lavoro cooperativo e l'adozione di un approccio *embodied*, consentendo all'alunna con BES di sentirsi pienamente parte del gruppo e valorizzata nel suo percorso. La progettazione ha previsto attività individualizzate, ma progressivamente integrate con quelle

del gruppo classe, sostenute da un ambiente didattico accogliente e flessibile, che ha saputo modulare difficoltà, supporti e obiettivi in funzione dei bisogni specifici.
Gli insegnanti hanno unanimemente riconosciuto il valore della RE come strumento per rendere l'apprendimento più coinvolgente e accessibile. L'alunna con BES è riuscita, in alcune occasioni, a portare a termine compiti in autonomia, sviluppando un senso di autoefficacia e competenza. L'ambiente laboratoriale, improntato alla collaborazione e alla riflessione sull'errore, ha favorito lo sviluppo di atteggiamenti positivi verso la risoluzione dei problemi, promuovendo una cultura dell'errore come risorsa didattica e momento costruttivo di apprendimento. Le attività di *debugging*, in particolare, hanno reso l'errore occasione di revisione e riprogettazione, rafforzando nei partecipanti un approccio metacognitivo e resiliente.
La dimensione inclusiva si è riflessa non solo nei risultati dell'alunna con BES, ma nell'intera dinamica di gruppo, contribuendo alla costruzione di un contesto scolastico collaborativo e solidale. I docenti hanno rilevato come, anche tra gli alunni con maggiori competenze, l'ambiente laboratoriale abbia sollecitato una revisione delle proprie modalità operative, favorendo l'acquisizione di abilità trasversali come la cooperazione, la flessibilità e l'ascolto reciproco.
Dal punto di vista metodologico, la RE ha contribuito a rinnovare le pratiche didattiche, promuovendo una didattica attiva e centrata sul compito. I docenti hanno evidenziato il valore delle esperienze laboratoriali anche per la propria crescita professionale, in quanto l'approccio sperimentato ha stimolato una maggiore consapevolezza nella progettazione di ambienti di apprendimento orientati allo sviluppo di competenze. La RE ha richiesto, infatti, un ripensamento del ruolo docente, da trasmettitore di contenuti a facilitatore di processi, incaricato di stimolare l'autonomia, il pensiero critico e la capacità di *problem solving* degli studenti.
Particolarmente significativo è stato il riscontro sull'integrazione tra RE e discipline curricolari, come matematica e tecnologia, in cui si è osservato un aumento della motivazione e dell'attenzione anche da parte di alunni abitualmente disattenti. Inoltre, la metodologia e le strategie utilizzate sono state oggetto di trasferimento anche nelle attività quotidiane, come dimostrato da episodi spontanei riportati dai docenti, in cui gli alunni hanno riconosciuto nella pratica didattica ordinaria le modalità apprese nel laboratorio. Infine, l'utilizzo delle tecnologie digitali ha favorito lo sviluppo di competenze digitali di base, anche tra gli alunni con minore dimestichezza, grazie all'impiego di piattaforme come *Google Classroom* e ambienti di programmazione visuale. Tuttavia, i docenti concordano sul fatto che l'efficacia della RE dipenda in larga misura dalla qualità della progettazione e dalla competenza pedagogico-didattica dell'insegnante. In assenza di una guida consapevole, lo strumento robotico rischia di perdere il suo potenziale formativo e trasformarsi in un semplice artefatto ludico. In sintesi, il laboratorio di RE si è rivelato un contesto formativo altamente significativo, capace di promuovere non solo apprendimenti disciplinari e competenze trasversali, ma anche processi inclusivi, attraverso una didattica esperienziale, cooperativa e centrata sullo studente.
I risultati ottenuti in un *setting* educativo italiano vengono ora confrontati con una sperimentazione nella Svizzera italiana, che amplia lo sguardo su controllo attentivo, memoria di lavoro e regolazione emotivo-comportamentale, mantenendo la stessa coerenza metodologica.

4.2 Evidenze da alcune ricerche svizzere

Dopo l'esperienza italiana, l'analisi si sposta al Canton Ticino, mantenendo il focus sulle FE e sulle percezioni degli alunni, ma in una diversa cornice istituzionale e con un disegno quasi-sperimentale che consente di verificare la trasferibilità delle evidenze. La ricerca che viene presentata è nata da un interesse mirato all'integrazione della RE nel contesto scolastico della Svizzera italiana, con particolare attenzione a un approccio inclusivo e all'indagine del potenziale impatto sul funzionamento esecutivo degli alunni della scuola primaria, nonché sulla loro percezione delle attività svolte. Negli ultimi dieci anni, la RE ha progressivamente acquisito rilevanza, dapprima nell'ambito accademico, per poi estendersi agli ambienti scolastici. In tale quadro, anche il Canton Ticino ha registrato un incremento di progetti volti a integrare la RE nel curricolo scolastico e a formare adeguatamente il personale docente. Tuttavia, tali iniziative faticano ancora a incidere in modo significativo sulle pratiche didattiche, principalmente a causa di ostacoli strutturali e culturali, quali la carenza di dispositivi robotici, la bassa autoefficacia percepita dagli insegnanti nell'insegnamento della RE e la scarsa familiarità con gli strumenti tecnologici (Negrini, 2019).
La complessità dell'integrazione della RE nel sistema scolastico ticinese richiede una lettura attenta del contesto storico, politico e istituzionale che ne ha influenzato l'evoluzione. In particolare, è fondamentale considerare il processo graduale di transizione da un sistema basato su strutture differenziali per alunni con BES verso un modello di scuola inclusiva, sancito formalmente solo con la Legge sulla pedagogia speciale del 2011. Questo passaggio ha favorito l'inserimento degli alunni con BES nelle classi ordinarie, sebbene il sistema scolastico rimanga in costante trasformazione, impegnato nella costruzione di un ambiente capace di rispondere ai bisogni formativi di tutti gli studenti. In tale scenario, l'adozione di tecnologie educative e, in particolare, della RE rappresenta una delle sfide centrali per il sistema educativo ticinese. Studi recenti (Plata & Castelli, 2023) evidenziano una diffusa incertezza tra gli insegnanti rispetto all'integrazione delle nuove tecnologie nella pratica didattica quotidiana, confermando la necessità di investire in ricerca e formazione. Le esperienze presentate in questo lavoro si collocano proprio in tale direzione, con l'obiettivo di progettare, implementare e analizzare percorsi di RE costruiti in collaborazione con i docenti, in grado di rispondere alle esigenze del contesto scolastico e di contribuire all'elaborazione di curricoli sostenibili ed efficaci.
La presente indagine sperimentale, condotta in una scuola primaria ticinese con la partecipazione di alunni con BES, si articola attorno a due domande principali: da un lato, valutare l'efficacia delle attività di RE sullo sviluppo delle FE; dall'altro, esplorare la percezione degli alunni rispetto all'esperienza laboratoriale. Inoltre, l'intervento si propone di analizzare l'eventuale incidenza di variabili di genere sui risultati osservati, in linea con le più recenti ricerche internazionali (Betty, 2023; Di Lieto *et al.*, 2020a; Drakatos & Christou, 2023; Drakatos & Drigas, 2024). Le attività proposte sono state progettate congiuntamente ai docenti, al fine di garantirne la sostenibilità e la futura integrazione nella didattica ordinaria. La raccolta sistematica dei dati e l'analisi quantitativa completa sono rintracciabili in Marras e colleghi (2024a) e hanno mirato a colmare un *gap* di studi sperimentali nello specifico ambito, contribuendo così alla comunità scientifica internazionale e al miglioramento delle pratiche didattiche inclusive attraverso la RE.

4.2.1 Metodologia e disegno sperimentale

Nel quadro della presente ricerca, l'attenzione si è concentrata sull'analisi dell'impatto dei laboratori di RE sullo sviluppo delle FE degli alunni e sulla rilevazione delle loro percezioni in merito all'esperienza vissuta durante le attività laboratoriali. L'intento è stato quello di restituire una visione articolata e approfondita circa l'efficacia della RE nel promuovere abilità cognitive complesse, nel favorire un coinvolgimento attivo e consapevole degli studenti e nel cogliere eventuali differenze legate al genere. Tale prospettiva contribuisce al dibattito scientifico internazionale sull'innovazione metodologica e sull'inclusività delle pratiche educative.
Nel presente lavoro, il concetto di funzionamento esecutivo è stato articolato facendo riferimento a tre principali dimensioni: il controllo attentivo, la memoria di lavoro e la regolazione emotiva, comportamentale e cognitiva. In particolare, con controllo attentivo si intende la capacità dello studente di mantenere la concentrazione sul compito, ignorare fonti di distrazione e passare in modo flessibile da una modalità attentiva all'altra, per adattarsi a un ambiente dinamico e complesso. Tale dimensione comprende anche l'attenzione sostenuta, ovvero la capacità di impegnarsi in processi decisionali cognitivamente impegnativi per periodi prolungati. Questa definizione, pur condividendo elementi con la letteratura consolidata (Diamond, 2013), si ispira anche a prospettive più recenti (Bavelier & Green, 2019), che sottolineano la natura dinamica e multidimensionale delle FE.
La metodologia adottata si basa su un disegno quasi-sperimentale, con rilevazioni effettuate in due momenti distinti: prima e dopo l'intervento didattico basato sulla robotica. Al termine del percorso laboratoriale, è stato inoltre somministrato un questionario strutturato finalizzato a raccogliere le impressioni e i vissuti degli alunni, integrando così una componente utile a interpretare le dimensioni esperienziali e soggettive dell'intervento proposto.

4.2.2 Partecipanti

Ai fini dell'implementazione dei laboratori di RE in un contesto scolastico regolare, è stato predisposto un protocollo di intervento specificamente pensato per la realtà di una scuola primaria situata a Locarno, nel Canton Ticino. L'intervento ha coinvolto due classi quarte per un totale di 42 alunni (di cui 20 femmine), con un'età media di 9.76 anni (ds=0.53). Il campione, selezionato per convenienza, si caratterizza per un'elevata eterogeneità, accogliendo alunni con BES di diversa natura. Nello specifico, tra i partecipanti figurano un alunno con un alto potenziale cognitivo, un alunno con diagnosi di disturbo dello spettro autistico, e un alunno di origine straniera, non italofono, inserito in qualità di uditore. Complessivamente, il 26% degli studenti (n=11) usufruisce di servizi educativi speciali. In entrambe le classi erano attivamente presenti gli Operatori Pedagogici per l'Integrazione (OPI), figure professionali deputate al supporto degli alunni con BES. La partecipazione allo studio è avvenuta previa acquisizione del consenso informato scritto da parte di entrambi i genitori per ciascun alunno coinvolto.

4.2.3 Procedura di ricerca

La procedura di ricerca ha coinvolto alunni iscritti a una scuola primaria di Locarno, selezionati per partecipare a un ciclo di laboratori di RE. Prima dell'intervento, gli studenti sono stati sottoposti a una fase di pre-test (t_0), durante la quale sono state valutate le FE attraverso strumenti standardizzati, unitamente alla rilevazione della loro percezione nei confronti della RE. L'intervento, della durata complessiva di 12 ore distribuite nell'arco di due settimane, ha previsto un percorso laboratoriale strutturato, le cui attività sono state progettate in aderenza ai principi dell'UDL. Le attività di robotica, ideate in stretta collaborazione con i docenti, sono state integrate nella programmazione didattica curricolare, garantendo coerenza con gli obiettivi formativi previsti. I laboratori si sono svolti durante l'orario scolastico regolare, alla presenza degli insegnanti di classe e sotto la supervisione di un esperto in RE. A distanza di una settimana dalla conclusione del percorso, gli alunni sono stati sottoposti a una fase di post-test (t_1), durante la quale sono stati riutilizzati gli stessi strumenti impiegati nella fase iniziale, al fine di verificare l'eventuale evoluzione delle competenze cognitive oggetto di studio. L'intera procedura è stata concepita per monitorare l'impatto della RE sul potenziamento delle FE degli studenti.

4.2.4 Strumenti di ricerca

Gli strumenti impiegati nella presente indagine sono prevalentemente di natura quantitativa; a tal fine, si è fatto ricorso a tre distinti strumenti di ricerca: una batteria di test gamificati su tablet per la valutazione diretta delle FE, un questionario somministrato agli insegnanti per la valutazione delle FE e un questionario costruito *ad hoc* per indagare le rappresentazioni e le opinioni degli studenti relative ai laboratori.

4.2.4.1 Strumenti videoludici per il funzionamento esecutivo

Le FE sono state valutate tramite una batteria informatizzata su tablet e composta da attività strutturate con un approccio videoludico, al fine di massimizzare l'*engagement* dei bambini. I compiti proposti, validati nella letteratura scientifica e strutturati secondo paradigmi consolidati, indagano vari domini cognitivi (Menestrina *et al*., 2021).
La batteria comprende:

- *Barrage*: per valutare l'attenzione visiva sostenuta, mediante il rapido riconoscimento di target (tazze) evitando distrattori (Gauthier *et al*., 1989);
- *MOT – Multiple Object Tracking*: per misurare la capacità di monitoraggio simultaneo di più oggetti e la memoria di lavoro (Sears & Pylyshyn, 2000);
- *UFOV – Useful Field of View*: per l'attenzione visiva distribuita, che richiede di individuare uno stimolo target tra distrattori (Yung *et al*., 2015);
- *Corsi Forward* e *Backward (avanti e indietro)*: per valutare la memoria visuo-spaziale a breve termine (Corsi, 1972).

Queste attività hanno consentito di rilevare in modo interattivo componenti centrali del funzionamento esecutivo, tra cui attenzione sostenuta, memoria di lavoro e processi di controllo visuo-spaziale.

4.2.4.2 Valutazione docente del funzionamento esecutivo

Per integrare la valutazione oggettiva delle FE con una prospettiva eterovalutativa, è stato utilizzato il *Behavior Rating Inventory of Executive Function – Second Edition* (BRIEF-2), nella versione specificamente sviluppata per gli insegnanti e validata in lingua italiana (Marano *et al.*, 2014). Si tratta di uno strumento quantitativo di autovalutazione che consente di ottenere un profilo articolato del funzionamento esecutivo dell'alunno attraverso l'osservazione sistematica del comportamento nel contesto scolastico.
Il BRIEF-2 si fonda su un'impostazione teorica secondo cui le FE costituiscono un costrutto complesso e multidimensionale, che si declina in diversi sottocostrutti interrelati, riconducibili a processi di regolazione cognitiva, comportamentale ed emotiva (Holmes-Bernstein & Waber, 1990; Gioia *et al.*, 2001). Le FE vengono così intese come l'insieme dei processi autoregolativi che consentono all'individuo di pianificare, monitorare e adattare il proprio comportamento per raggiungere obiettivi finalizzati. Lo strumento si articola in 63 item, ciascuno dei quali descrive un comportamento osservabile; gli insegnanti sono chiamati a indicarne la frequenza sulla base della loro esperienza in classe, utilizzando una scala Likert a tre punti (mai=1, talvolta=2, sempre=3). Il BRIEF-2 restituisce tre indici principali: il *Behavioral Regulation Index* (BRI), relativo alla regolazione comportamentale; l'*Emotional Regulation Index* (ERI), centrato sulla regolazione emotiva; e il *Cognitive Regulation Index* (CRI), riferito alla regolazione dei processi cognitivi come pianificazione, organizzazione e memoria di lavoro. L'insieme di questi tre indici concorre alla formulazione del *Global Executive Composite* (GEC), che rappresenta un indice sintetico del profilo esecutivo complessivo dell'alunno. È importante sottolineare che punteggi più bassi sono indicativi di un comportamento più funzionale e adattivo nei diversi ambiti indagati, mentre punteggi più elevati segnalano una maggiore frequenza di comportamenti problematici riconducibili a difficoltà nel funzionamento esecutivo.

4.2.4.3 Percezione degli studenti sui laboratori di RE

Per esplorare il punto di vista degli alunni rispetto all'esperienza nei laboratori di RE e alle caratteristiche dell'artefatto robotico, è stato predisposto un questionario costruito *ad hoc* dagli autori. Lo strumento, composto da 38 item, si articola in diverse sezioni volte a raccogliere dati significativi sulle percezioni, il coinvolgimento e l'esperienza soggettiva degli studenti. In particolare, include 29 affermazioni valutate su una scala Likert a cinque punti (da "molto d'accordo" a "molto in disaccordo"), volte a rilevare il grado di accordo su aspetti legati al gradimento delle attività, all'interesse per la tecnologia, alla rappresentazione del robot e alla motivazione ad approfondire la RE (ad esempio "Ti piacerebbe frequentare un nuovo laboratorio più avanzato sulla robotica?"). Il questionario comprende inoltre due item a risposta dicotomica che indagano la preferenza tra le due tipologie di robot e i due linguaggi di programmazione utilizzati, e sei item a scelta multipla, in cui agli alunni viene chiesto di indicare le loro

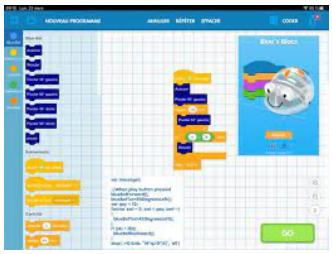
preferenze rispetto alle attività laboratoriali in base a criteri specifici (ad esempio "Quale attività hai trovato più noiosa?"). È presente anche una domanda aperta, finalizzata a raccogliere commenti liberi, impressioni o proposte, con l'intento di arricchire l'analisi qualitativa. Nel complesso, il questionario si configura come uno strumento multidimensionale, volto a restituire una rappresentazione articolata dell'esperienza vissuta dagli alunni durante i laboratori, offrendo elementi di riflessione utili per comprendere le potenzialità formative e inclusive della RE.

4.2.5 Protocollo: i laboratori di RE

L'intervento didattico di RE si è sviluppato attraverso cinque sessioni laboratoriali articolate su due settimane, per una durata complessiva di dodici ore, distribuite nelle ultime settimane di aprile 2023. Tale scelta temporale si allinea con evidenze della letteratura scientifica (Zhang *et al*., 2021), secondo cui interventi intensivi di breve durata – inferiori al mese – possono produrre effetti significativi in termini di apprendimento. L'intero percorso è stato progettato congiuntamente da ricercatori e docenti curricolari, attraverso un processo di co-progettazione che ha permesso di definire obiettivi formativi personalizzati e competenze trasversali in linea con la programmazione annuale e le esigenze specifiche emerse all'interno delle classi coinvolte. Le attività laboratoriali hanno previsto l'impiego di due robot educativi – *Blue-bot* e *Thymio II* – affiancati da ambienti di programmazione visuale quali *Blue's blocs* e *VPL (Visual Programming Language)* (Tabella 12).
Ogni sessione ha incluso una varietà di strategie didattiche e si è svolta in un'ottica di didattica personalizzata, tenendo conto dei differenti bisogni degli alunni. In particolare, l'intervento ha promosso l'integrazione di contenuti curricolari (matematica, geometria, educazione ambientale, media e tecnologia) con finalità educative trasversali quali lo sviluppo del pensiero computazionale, delle abilità logico-spaziali, della collaborazione e della capacità di *problem solving*. Durante la prima settimana, le tre sessioni introduttive hanno utilizzato *Blue-Bot* per realizzare percorsi sull'ambiente e la geometria, stimolando l'orientamento spaziale e il ragionamento algoritmico.

Tabella 12. Robot educativi e ambienti di programmazione impiegati

Caratteristiche dei due artefatti robotici utilizzati nei laboratori di RE		
Hardware del robot (Nome e produttore)		
	Blue-bot (TTS Group)	Thymio II (EPFL/Mobsya)
Tipologia di robot	Compatto	Compatto, modulare

Caratteristiche dei due artefatti robotici utilizzati nei laboratori di RE		
Interfaccia del software di programmazione (Immagine e nome)		
	Blue's blocs	VPL (Visual Programming Language), *Scratch, Blockly*, Python, Aseba Studio
Modalità e linguaggio di programmazione	Programmabile senza computer tramite i tasti fisici posti sul dorso (fino a 40 comandi memorizzabili). In alternativa, programmabile via *Bluetooth* attraverso *Blue's Blocs*, con programmazione visuale a blocchi.	Programmabile con diversi linguaggi, dal visuale (VPL) al testuale (Aseba, Python). Dispone di sei pulsanti tattili che permettono di attivare comportamenti pre-impostati (esplorazione, evitamento ostacoli, seguire la linea, reazioni a suoni o movimenti), utilizzabile quindi anche senza programmazione. Dotato di numerosi sensori (prossimità, movimento, temperatura, microfono). Connettività USB/Wi-Fi.
Espansioni del robot	Accessori come gusci, percorsi tematici, tasselli e lettori touch per attività di calcolo e gare a ostacoli.	Compatibile con LEGO e vari kit di espansione e sensori aggiuntivi per attività avanzate; dispone di una community open source con materiali didattici e aggiornamenti software.
Età	dai 3 anni in su	dai 6 anni in su
Grado di scuola	Infanzia e Primaria	Primaria e Secondaria
Finalità educative	Promuove pensiero computazionale e competenze spazio-temporali. Utilizzabile anche per attività interdisciplinari in ambito STEAM.	Favorisce pensiero computazionale, progressione dal concreto all'astratto e inclusione. Stimola *problem solving*, collaborazione e creatività. L'ampia gamma di modalità lo rende adatto per attività graduate, dalla scoperta intuitiva alla programmazione avanzata.

Le attività (Tabella 13), come il tracciamento di itinerari tra paesi o monumenti delle valli del Locarnese e il disegno di figure geometriche, sono state supportate da espansioni fisiche e *coding* tangibile o a blocchi. Nella seconda settimana, con *Thymio II*, l'attenzione si è spostata verso la programmazione di comportamenti più complessi: gli studenti sono stati chiamati a osservare, decodificare e riprodurre comportamenti robotici, fino a progettare strategie di risoluzione autonoma di problemi, mediante il linguaggio visuale *VPL*.

Tabella 13. Sessioni di laboratorio di RE

Robot	Lab.	Titolo	Breve descrizione attività
Blue-Bot	1	Alla scoperta delle cinque valli di Locarno	Esplorazione territoriale tramite percorsi programmati con Blue-Bot.
	2	Alla scoperta dei monumenti delle valli	Programmazione di percorsi con Blue-Bot per conoscere i monumenti delle valli del Locarnese.
	3	Costruire le figure geometriche	Utilizzo dell'app *Blue's Blocs* per programmare percorsi che riproducono figure geometriche con Blue-Bot.
Thymio II	4	Alla scoperta dei comportamenti di Thymio II	Esplorazione dei comportamenti preimpostati di Thymio II e programmazione con linguaggio VPL.
	5	Sfide verso il castello di Locarno	Superare percorsi e sfide programmando Thymio II fino al traguardo del castello di Locarno.

Ciascun incontro di laboratorio si è strutturato secondo tre fasi principali: anticipazione, per attivare conoscenze pregresse e introdurre i contenuti; produzione, per lo sviluppo collaborativo del codice e la realizzazione dell'attività al fine di raggiungere l'obiettivo; riflessione, finalizzata alla valutazione metacognitiva, alla condivisione degli artefatti e alla consapevolezza degli apprendimenti. Le modalità di lavoro, prevalentemente in piccoli gruppi, si sono basate su *collaborative learning*, *peer tutoring* e un uso intenzionale del *problem posing* e *solving*, in coerenza con un approccio costruttivista all'apprendimento.
Nel complesso, la struttura dell'intervento ha favorito un'esperienza educativa autentica e inclusiva, mirata a promuovere competenze digitali, cognitive e sociali in un contesto scolastico reale e integrato. La combinazione di co-progettazione, interdisciplinarità e adattamento metodologico ha rappresentato una condizione essenziale per garantire la significatività e l'efficacia delle attività proposte.

4.2.6 Analisi dei dati

L'analisi dei dati è stata condotta utilizzando il *software open-source Jamovi* per Mac (versione 2.3.21). Al fine di indagare le eventuali differenze tra i gruppi, sono state effettuate analisi della varianza a misure ripetute (ANOVA), considerando il tempo di somministrazione (t_0 e t_1) come fattore intra-soggetto, e il genere come fattore inter-soggetto. L'obiettivo principale era verificare se i laboratori di RE avessero prodotto effetti significativi sulle dimensioni oggetto di studio, con particolare attenzione all'interazione tra tempo e gruppo. Oltre alla significatività statistica, sono state riportate anche le dimensioni dell'effetto, calcolate tramite η^2 parziale [η^2_p = SSeffect / (SSeffect + SSerror)], utile per valutare la rilevanza pratica dei risultati. Non sono emerse interazioni significative tra tempo e genere, tali risultati non saranno inclusi nel seguente paragrafo, ma sono consultabili nelle tabelle supplementari (S1 e S2) del contributo di Marras e colleghi (2024a).

4.2.7 Risultati

L'analisi dei risultati ha preso in esame, in primo luogo, l'impatto delle attività di RE sul funzionamento esecutivo degli studenti, per poi esplorare la percezione da parte degli alunni dei laboratori stessi.

4.2.7.1 Funzioni esecutive: la batteria di valutazione digitale su tablet

Per quanto riguarda le FE, le valutazioni sono state effettuate attraverso una batteria di prove digitali, somministrate prima (t_0) e dopo (t_1) l'intervento.
L'attenzione visiva sostenuta è stata esaminata mediante il compito di barrage. I risultati dell'analisi della varianza (ANOVA) per misure ripetute, con il tempo come fattore intra-soggetto e il genere come fattore inter-soggetto, hanno evidenziato un effetto principale significativo del tempo sull'accuratezza ($F(1,41) = 23.725$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.372$), indicando un miglioramento dopo l'intervento. Anche per quanto riguarda la rapidità di risposta, si è osservato

un effetto principale del tempo altamente significativo ($F(1,41) = 101.63$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.718$), a conferma dell'efficacia del laboratorio nel potenziare l'efficienza attentiva.
Per valutare l'attenzione visiva divisa, è stata utilizzata la prova UFOV. L'ANOVA, con la soglia di rilevazione come variabile dipendente, ha mostrato un miglioramento significativo post-laboratorio ($F(1,41) = 20.346$; $p < 0.001$; $\eta^2p = 0.337$). Diversamente, il compito MOT, volto a misurare l'indicizzazione attentiva e il monitoraggio della memoria di lavoro, non ha restituito risultati statisticamente significativi in termini di accuratezza tra t_0 e t_1 ($F(1,41) = 2.71$; $p = 0.107$; $\eta^2p = 0.064$), suggerendo un impatto meno evidente su questa specifica dimensione.

La memoria di lavoro visuo-spaziale è stata analizzata mediante la prova Corsi, sia nella versione *forward* che *backward*. Per quanto riguarda la memoria a breve termine visuo-spaziale (Corsi *forward*), l'ANOVA non ha evidenziato effetti significativi legati al tempo ($F(1,41)=0.348$; $p=0.559$; $\eta^2p=0.009$), indicando una sostanziale stabilità dei punteggi pre e post intervento. Al contrario, la memoria di lavoro visuo-spaziale (Corsi *backward*) ha mostrato un miglioramento statisticamente significativo tra t_0 e t_1 ($F(1,41)=7.8261$; $p=0.008$; $\eta^2p=0.164$), suggerendo che l'intervento di RE abbia avuto un impatto positivo nel potenziare questa funzione specifica.

4.2.7.2 La valutazione dei docenti sul funzionamento esecutivo

Il funzionamento esecutivo è stato valutato anche attraverso gli indici forniti dal questionario BRIEF-2 (Marano *et al.*, 2014) compilato dagli insegnanti. L'analisi statistica, condotta mediante ANOVA a misure ripetute con il tempo (t_0 e t_1) come fattore intra-soggetto e il genere come fattore inter-soggetto, non ha evidenziato differenze statisticamente significative negli indici principali. Tuttavia, si osserva una diminuzione generale delle medie tra pre e post test in tutti gli indici considerati, suggerendo un miglioramento, percepito da parte degli insegnanti, delle FE.
In particolare, l'*indice di regolazione cognitiva* (CRI) mostra una media iniziale di 45.9 (ds=14.79) che scende a 42.2 (ds=37.0) al post test, con un *trend* di miglioramento vicino alla significatività statistica ($F(1,41)=3.923$; $p=0.055$; $\eta^2P=0.089$). Analogamente, anche il *punteggio composito globale* (GEC) registra una riduzione media da 84.7 (ds=23.94) a 78.1 (ds=22.81), pur non raggiungendo la significatività ($F(1,41)=3.384$; $p=0.073$; $\eta^2P=0.078$).
L'*indice di regolazione emotiva* (ERI) passa da una media di 21.2 (ds=5.95) a 19.4 (ds=5.61) ($F(1,41)=2.938$; $p=0.094$; $\eta^2P=0.068$), mentre l'*indice di regolazione comportamentale* (BRI) mostra una riduzione della media da 17.6 (ds=5.51) a 16.4 (ds=5.10) ($F(1,41)=1.92$; $p=0.173$; $\eta^2P=0.046$). Sebbene nessuno degli effetti risulti statisticamente significativo, le medie più basse rilevate al t_1 suggeriscono un miglioramento nel funzionamento esecutivo percepito, in particolare nelle componenti di regolazione cognitiva. Tali risultati, pur preliminari, indicano una tendenza positiva che merita ulteriori approfondimenti in ricerche future su campioni di dimensioni più ampie.

4.2.7.3 La percezione degli studenti sulla RE e sui robot

Nel questionario somministrato agli studenti, si è inteso raccogliere opinioni e percezioni relative alle attività laboratoriali svolte, alla modalità di lavoro adottata e al grado di soddisfazione generale. L'analisi descrittiva dei dati ha permesso di esplorare il vissuto degli alunni durante le sessioni di RE, individuando sia gli aspetti maggiormente apprezzati sia le principali difficoltà incontrate.
Tra le attività proposte, il laboratorio *Thymio II e comportamenti* ha ricevuto il maggior numero di preferenze (33%), risultando il più apprezzato, mentre *Blue-Bot e monumenti* ha raccolto il minor gradimento (12%). Il laboratorio *Blue-Bot e valli* è stato considerato il più semplice (30%), mentre *Blue-Bot e figure geometriche* è stato ritenuto il più complesso. Significativamente, i due laboratori ritenuti più noiosi (*Blue-Bot e valli* e *Blue-Bot e figure geometriche*) corrispondono, rispettivamente, all'attività percepita come la più semplice e a quella considerata più impegnativa (52% complessivo). Le attività che coinvolgevano il robot *Thymio II* sono state giudicate le più divertenti da circa il 60% degli studenti. Complessivamente, gli studenti hanno valutato in modo molto positivo l'esperienza laboratoriale, esprimendo un alto livello di interesse per la RE (m=4.79; ds=0.47), una partecipazione volenterosa alle attività (m=4.37; ds=0.79) e il desiderio di approfondire la disciplina attraverso percorsi più avanzati (m=4.37; ds=0.82). Non sono emerse preferenze nette circa i robot impiegati, ma è interessante notare che le studentesse hanno mostrato una preferenza marcata per il linguaggio di programmazione visuale *VPL* rispetto a *Blue's Blocs* (80% contro 20%).
Ulteriori item del questionario hanno confermato un forte interesse per la robotica (92%) e l'elevato coinvolgimento nelle attività presentate (89%). Le aree che hanno evidenziato un maggior disaccordo da parte degli studenti riguardano prevalentemente le dinamiche collaborative e il lavoro di gruppo, elementi che riflettono aspetti metodologici più ampi e non esclusivamente legati alla pratica della RE. Ciononostante, la metà degli studenti ha riferito di aver percepito un miglioramento nella relazione con i compagni al termine del percorso. Infine, la valutazione degli insegnanti impegnati nei laboratori di RE è risultata positiva: il 63% degli studenti ha riconosciuto l'attenzione e la disponibilità dei docenti, mentre il 75% ha giudicato chiare le consegne ricevute durante le attività. Tali dati evidenziano una generale soddisfazione e una buona riuscita dell'intervento dal punto di vista dell'esperienza degli studenti.

4.3 Discussione critica dei risultati

I risultati emersi dalle indagini empiriche condotte in due differenti contesti educativi – quello italiano e quello svizzero – offrono un quadro articolato e coerente delle potenzialità pedagogiche della RE, con particolare riferimento allo sviluppo delle FE, alla partecipazione attiva degli alunni nei processi di apprendimento e alla promozione dell'inclusione scolastica.
Nel contesto italiano, l'esperienza ha confermato l'efficacia della RE come leva formativa capace di potenziare il funzionamento esecutivo, favorire lo sviluppo metacognitivo e promuovere pratiche didattiche attive e collaborative. Parallelamente, la sperimentazione condotta nel Canton Ticino ha fornito ulteriori conferme empiriche, contribuendo ad ampliare la portata

delle evidenze raccolte e a consolidare il valore formativo della RE attraverso dati oggettivi e soggettivi.
In entrambe le esperienze, la RE si è configurata come un dispositivo didattico capace di sostenere il miglioramento di componenti fondamentali del funzionamento esecutivo, con particolare enfasi sull'attenzione sostenuta, il controllo inibitorio e la memoria di lavoro, soprattutto nella sua declinazione visuo-spaziale. In particolare, i dati raccolti in Ticino attraverso la somministrazione di una batteria di compiti digitali standardizzati (Marras *et al.*, 2024a) hanno messo in evidenza miglioramenti statisticamente significativi nel controllo attentivo (*barrage task* e UFOV) e nella memoria di lavoro visuo-spaziale "indietro" (Corsi *backward*). Questi risultati confermano quanto emerso anche nella letteratura scientifica, che riconosce nella RE uno strumento intenzionale ed efficace per il potenziamento cognitivo (Drakatos & Christou, 2023; Di Lieto *et al.*, 2020a).
Lo studio ticinese ha inoltre investigato l'efficacia della RE nell'attivazione di dimensioni chiave delle FE – come attenzione, memoria di lavoro visuo-spaziale e regolazione cognitiva – attraverso un approccio metodologico integrato, che ha previsto l'uso combinato di strumenti standardizzati e questionari autovalutativi. I risultati della *Tablet-Based Assessment Battery* (Menestrina *et al.*, 2021) hanno mostrato un incremento significativo nell'attenzione sostenuta e in quella divisa, in linea con quanto riportato nella letteratura riguardante la correlazione tra attività di RE e sviluppo delle capacità attentive (Pasqualotto *et al.*, 2024; Stevens & Bavelier, 2012). Sebbene i punteggi relativi alla memoria visuo-spaziale a breve termine "avanti" (Corsi *forward*) non abbiano mostrato differenze significative, il miglioramento osservato nel Corsi *backward* suggerisce che le attività di programmazione abbiano favorito l'attivazione di strategie cognitive di ordine superiore, in particolare la manipolazione attiva delle informazioni e la pianificazione sequenziale. A livello eterovalutativo, le rilevazioni condotte tramite il questionario BRIEF-2 (Marano *et al.*, 2014) hanno evidenziato un *trend* positivo nell'indice di regolazione cognitiva (CRI), che – pur in assenza di significatività statistica – suggerisce un possibile effetto della RE anche sul comportamento autoregolativo percepito dai docenti. Questi esiti sono coerenti con quanto documentato da altri studi (tra cui La Paglia *et al.*, 2018; Arfè *et al.*, 2019), che indicano nella programmazione robotica un'attività didattica capace di sollecitare funzioni cognitive complesse quali pianificazione, controllo inibitorio e monitoraggio del compito.
Un ulteriore elemento di rilievo riguarda la dimensione dell'autoregolazione attivata dagli alunni durante le attività: la costruzione del codice e il *feedback* immediato derivante dal comportamento del robot si sono rivelati strumenti didattici potenti per promuovere la metacognizione e la capacità di *debugging*. L'esperienza ha infatti dimostrato come gli alunni siano stati in grado di riflettere sui propri processi, di individuare gli errori e di operare modifiche funzionali al raggiungimento dell'obiettivo (La Paglia *et al.*, 2018).
I dati raccolti tramite i questionari somministrati agli alunni confermano l'elevato grado di coinvolgimento e soddisfazione: il 92% degli studenti ha definito le attività di RE coinvolgenti e l'89% le ha considerate stimolanti. Il laboratorio *Thymio II e comportamenti* è risultato il più apprezzato, evidenziando l'efficacia dell'interazione tangibile con il robot nel promuovere motivazione e partecipazione.

Significativa è anche la preferenza manifestata dalle studentesse per l'ambiente di programmazione visuale *VPL*, rispetto a *Blue's Blocs* (80% contro 20%). Questo dato rafforza la necessità di adottare una progettazione didattica sensibile alle differenze individuali e di genere, in linea con quanto sostenuto da Negrini e colleghi (2024), Sullivan e Bers (2018) e Bagattini e colleghi (2020), per promuovere la partecipazione femminile alle discipline STEM.
La ricerca condotta in Ticino ha inoltre offerto ulteriori indicazioni in termini di progettazione didattica differenziata: i laboratori percepiti come meno stimolanti sono stati quelli valutati come eccessivamente semplici o troppo complessi, a conferma della necessità di calibrare il carico cognitivo in base alla zona di sviluppo prossimale (Vygotsky, 1978) di ciascun alunno.
In tal senso, la RE si configura come una pratica pedagogica altamente flessibile, grazie alla possibilità di integrare differenti strumenti *hardware* e *software* e al supporto di approcci quali l'UDL, risultando capace di adattarsi a molteplici livelli di competenza e specifiche esigenze educative, e promuovendo così una didattica inclusiva.
Un aspetto trasversale rilevato in entrambi i contesti riguarda la funzione educativa dell'errore. Nei laboratori, l'errore è stato reinterpretato come componente costruttiva del processo di apprendimento, specialmente per gli alunni con BES. Le osservazioni dei docenti confermano come gli studenti abbiano potuto vivere esperienze di successo, rafforzare il proprio senso di autoefficacia e sviluppare consapevolezza sui propri processi cognitivi, anche grazie a percorsi progressivi di autoregolazione (Chevalier *et al*., 2022; Chalmers, 2018).
Il valore aggiunto della RE, in tal senso, risiede nella possibilità di fornire *feedback* immediati e tangibili, che supportano i processi metacognitivi attraverso la rielaborazione dell'errore e il *debugging*. L'esperienza concreta, favorita dall'interazione fisica con il robot, rende l'apprendimento più significativo e situato (Marzocchi *et al*., 2020).
In questa prospettiva, l'esperienza empirica ticinese si pone in continuità con quella italiana, rafforzandone e ampliandone le implicazioni educative. L'organizzazione dei laboratori su base curricolare e la co-progettazione con i docenti hanno rappresentato elementi cruciali per la riuscita degli interventi. Questi aspetti metodologici hanno attivato non solo un potenziamento delle abilità cognitive, ma anche stimolato processi riflessivi condivisi che hanno favorito dinamiche di sviluppo professionale continuo e collaborativo tra i docenti (Darling-Hammond *et al*., 2017).
Dal punto di vista delle implicazioni educative, la RE si conferma una pratica sostenibile e ad alto valore formativo per il potenziamento delle FE. Il suo impatto deriva sia dall'attivazione di processi cognitivi complessi legati alla programmazione, sia dalla forza delle metodologie attive e costruttiviste su cui si fonda (Papert, 1980). Affinché tale potenziale sia pienamente espresso, tuttavia, è necessario che la RE sia inserita in una cornice pedagogica solida, capace di integrare dimensioni cognitive, disciplinari e relazionali. Un uso tecnocentrico e decontestualizzato rischia infatti di snaturare l'intervento, riducendolo a un'esercitazione meccanica priva di valenza educativa (Selwyn, 2016; Fasoli, 2020).
Sotto il profilo metodologico, sia la sperimentazione italiana che quella svizzera hanno evidenziato il valore della co-progettazione tra ricercatori e docenti quale condizione abilitante per un'effettiva integrazione della robotica nei percorsi curricolari (Zhang *et al*., 2021). Tale collaborazione ha permesso di costruire percorsi coerenti, rilevanti e motivanti, con impatti positivi sul piano degli apprendimenti individuali e del clima relazionale all'interno del

gruppo classe. Nel contesto ticinese, in particolare, sono emersi episodi spontanei di tutoraggio tra pari, una maggiore coesione sociale e momenti di confronto costruttivo, confermando il potenziale inclusivo già documentato nel contesto italiano (Marras, 2023).
L'esperienza condotta nel Canton Ticino, in dialogo con quella italiana, suggerisce che l'integrazione della RE nei curricoli scolastici possa rappresentare una leva efficace per l'innovazione didattica, a patto che sia accompagnata da una formazione continua degli insegnanti, una revisione dei paradigmi metodologici e una valorizzazione del ruolo attivo degli studenti. La RE non si limita a promuovere competenze digitali e computazionali, ma contribuisce allo sviluppo del pensiero critico, dell'autoregolazione e del coinvolgimento attivo, in una prospettiva inclusiva e centrata sulla persona (Cottini, 2018). Alla luce di tali risultati, si osserva la necessità di realizzare ulteriori ricerche sperimentali e longitudinali, su campioni più ampi e in contesti educativi eterogenei, per validare l'efficacia della RE su differenti profili cognitivi, comportamentali e socio-relazionali. Un'attenzione particolare dovrebbe essere riservata all'utilizzo della RE in contesti speciali, per esplorarne appieno il potenziale trasformativo all'interno di un sistema scolastico in continua evoluzione. Le evidenze convergono nel mostrare che l'efficacia della RE dipende da una progettazione intenzionale, dalla valutazione formativa e dalle competenze dei docenti; il prossimo capitolo approfondirà proprio i fattori che ne influenzano il successo con un *focus* particolare sulle dimensioni sottese all'insegnamento della RE e la formazione dei docenti come leva per un'adozione diffusa e duratura.

Capitolo 5

Fattori del successo della RE: la prospettiva docente

La diffusione della *robotica educativa* (RE) sollecita una riflessione che vada oltre la mera disponibilità tecnologica, riportando al centro i quadri pedagogici che ne orientano l'uso e superando approcci tecnocentrici. In questa prospettiva, la quinta dimensione dell'ERIM — formazione docente e comunità di pratica — costituisce la leva strategica per integrare stabilmente la RE nei percorsi scolastici, rendendone l'implementazione intenzionale, coerente e sostenibile in una scuola inclusiva.
Il presente capitolo esamina come la formazione continua, progettata secondo principi *evidence-informed* e sostenuta da comunità professionali di pratica, possa abilitare l'adozione effettiva della RE in sinergia con altre condizioni abilitanti (infrastrutture, risorse, politiche di istituto). Le dimensioni che sostengono l'insegnamento della RE – già delineate nel Capitolo 3 attraverso il *Robotics Interest Questionnaire* (RIQ) – sono qui riprese in chiave applicativa come cornice per leggere i dati, orientare la progettazione formativa e supportare decisioni curricolari; per la descrizione teorica dei costrutti si rimanda dunque alla trattazione precedente. L'argomentazione si sviluppa lungo due assi complementari: (a) il passaggio da percezioni e intenzioni a una lettura sistematica e misurabile delle condizioni di adozione (con riferimento operativo ai fattori del RIQ: autoefficacia e conoscenze in RE, interesse per STEM/RE, collaborazione professionale, *problem solving*); (b) la traduzione delle evidenze in scelte curricolari e organizzative. In tal modo, il capitolo costruisce un ponte diretto con il successivo che avrà un taglio più operativo.
In sintesi, l'adozione della RE è funzione congiunta di condizioni organizzative, disponibilità di risorse e, soprattutto, sviluppo professionale sostenuto da comunità di pratica. La cornice proposta offre a formatori, dirigenti e insegnanti un impianto teorico-operativo fondato su ricerca e valutazione, a supporto di un'implementazione consapevole e diffusa della RE nella scuola italiana, e prepara il terreno alle scelte progettuali, implementative e valutative illustrate nel capitolo seguente.

5.1 Percezioni docenti sulla robotica educativa: studio esplorativo

L'introduzione della RE nelle pratiche didattiche rappresenta una delle sfide più promettenti dell'innovazione scolastica contemporanea. Tuttavia, nonostante la crescente disponibilità di dispositivi robotici accessibili e versatili, la diffusione sistematica della RE nella scuola italiana è ancora limitata e frammentaria. Come già discusso nel terzo capitolo, una delle chiavi

interpretative per comprendere questo fenomeno risiede nelle percezioni, negli atteggiamenti e nelle convinzioni dei docenti, veri agenti centrali nel processo di integrazione di pratiche didattiche innovative.

Lo studio esplorativo condotto da Bonaiuti e colleghi (2022b) rappresenta un contributo significativo in questa direzione. Esso si pone l'obiettivo di indagare in maniera sistematica l'opinione di 117 insegnanti italiani della scuola dell'infanzia e della primaria circa il potenziale educativo della RE, le condizioni per una sua effettiva implementazione e le barriere percepite. Attraverso un questionario strutturato e la successiva realizzazione di un *focus group* qualitativo, i ricercatori hanno analizzato le conoscenze, la propensione, gli atteggiamenti e le pratiche professionali dei docenti coinvolti, restituendo un quadro ricco di spunti interpretativi. Il campione (N=117) è composto quasi esclusivamente da insegnanti di genere femminile (97%) e vede una prevalenza di docenti della scuola primaria (70%) rispetto all'infanzia (30%). L'anzianità di servizio risulta distribuita in modo equilibrato: il 42% ha 4–10 anni di esperienza, il 21% tra 11 e 20 anni, il 33% oltre i 20 anni, mentre solo il 4% è nei primi 3 anni. La maggioranza ricopre il posto comune (76%), il restante 24% opera sul sostegno. Con riferimento alla formazione in servizio degli ultimi anni, circa un quarto del campione non ha partecipato ad attività strutturate; tra i restanti, gli ambiti più frequenti della formazione riguardano le metodologie didattiche, le tecnologie educative e il pensiero computazionale, con ricadute dirette sulla progettazione di attività di RE. A partire dal profilo dei partecipanti, si passa ora ai risultati, distinguendo tra diversi livelli di adozione, barriere e condizioni abilitanti, competenze ritenute maggiormente sollecitate dalla RE. In primo luogo, l'indagine conferma una tendenza già ampiamente documentata in letteratura: pur suscitando un interesse diffuso e un riconoscimento generalizzato delle sue potenzialità, la RE viene ancora utilizzata in maniera sporadica e non sistematica, come mostrano i dati raccolti. Solo il 16% degli insegnanti dichiara di aver utilizzato concretamente dispositivi di RE nella propria didattica, mentre la percentuale scende al 9% per quanto riguarda la robotica sociale. Emerge quindi un disallineamento tra le convinzioni positive sulla RE e la sua reale applicazione in aula, evidenziando come le barriere percepite prevalgono sulla spinta motivazionale all'innovazione. Per chiarire il disallineamento tra propensione dichiarata e uso effettivo, sono state organizzate sia le criticità emerse nelle sei categorie ricorrenti (tempo/organizzazione, dotazioni, supporto tecnico-didattico, competenze/auto-efficacia, accettabilità pedagogica, reti/comunità) sia le condizioni abilitanti indicate dai docenti. La Tabella 14 sintetizza tale quadro.

Nel complesso, i vincoli più frequenti si collocano sul versante organizzativo-logistico e dell'autoefficacia percepita; mentre, le leve di maggior impatto riguardano la co-progettazione e il tutoraggio tra pari, la disponibilità di materiali "pronti all'uso" e la partecipazione a comunità di pratica. Ciò conferma che la sola dotazione tecnologica è condizione necessaria ma non sufficiente: occorrono dispositivi di supporto professionale e cornici metodologiche condivise. Un altro aspetto centrale che emerge dallo studio, in linea con la letteratura, riguarda il ruolo della formazione. Se da un lato i docenti si dichiarano, in linea generale, disponibili ad aggiornarsi (il 92% è interessato a partecipare a corsi di formazione sulla RE), dall'altro lato si registra una diffusa carenza di competenze specifiche, sia a livello tecnologico che metodologico. Molti insegnanti manifestano una scarsa familiarità con i concetti di base del coding e del pensiero computazionale, oltre a una conoscenza limitata dei principali dispositivi e ambienti

di programmazione. Tali lacune incidono negativamente sulla fiducia percepita nelle proprie capacità e limitano le opportunità di sperimentazione autonoma. In questo senso, i dati raccolti confermano quanto già rilevato da Ertmer (2005) e da Mishra e Koehler (2006): la sola dotazione tecnologica non è sufficiente per innovare la didattica. È necessario sviluppare un insieme integrato di conoscenze pedagogiche, disciplinari e tecnologiche (TPACK), tramite percorsi formativi coerenti, riflessivi e operativamente orientati.

Tabella 14. Barriere percepite e condizioni abilitanti all'implementazione della RE
Fonte: Rielaborazione da Bonaiuti e colleghi (2022)

Categoria	Barriere	Condizioni abilitanti
Tempo e organizzazione	Poco tempo per progettare e integrare RE in curricolo; classi numerose.	Co-progettazione, *timetable* flessibile, micro-unità iterative.
Dotazioni e risorse	Kit costosi; scarsa familiarità con ambienti di programmazione.	*Budget* dedicati, condivisione dei kit, selezione progressiva di piattaforme.
Supporto tecnico-didattico	Assenza di supporti in classe; materiali didattici non pronti.	Tutoraggio tra pari, *repository* di materiali e guide "pronte all'uso".
Competenze e auto-efficacia	Incertezza nell'uso dei robot; timore dell'errore.	Formazione laboratoriale in ottica TPACK, modelli e *mentoring*, cultura del "*debugging*".
Accettabilità pedagogica	Scetticismo verso robot (soprattutto sociali) e sul loro valore educativo.	Cornice metodologica chiara, esempi disciplinari, *co-teaching*.
Reti e comunità	Esperienze isolate.	Comunità di pratica (scuola/rete territoriale), condivisione pratiche.

L'interesse dei docenti verso la RE è tuttavia motivato dalla consapevolezza delle sue potenzialità educative. La maggior parte degli insegnanti coinvolti nello studio attribuisce alla robotica un forte potere motivazionale, una capacità di favorire lo sviluppo di competenze trasversali quali la collaborazione, la creatività, il *problem solving* e la metacognizione. Rispetto alle competenze disciplinari, l'efficacia percepita della RE si concentra prevalentemente nelle discipline STEM, nella promozione della competenza digitale e nelle cosiddette *soft skills*, in linea con quanto evidenziato da Castro e colleghi (2018) e Jung e Won (2018). Per fornire una visione d'insieme, la Tabella 15 riporta le percentuali di accordo attribuite dai docenti alla RE e al *coding* rispetto a differenti competenze cognitive, trasversali e prassico-motorie.

Tabella 15. Competenze sviluppate dalla RE secondo le percezioni dei docenti
Fonte: Rielaborazione da Bonaiuti e colleghi (2022)

Ambito	Competenza percepita	RE (%)	Coding (%)
Cognitivo e disciplinare	Progettazione/organizzazione/pianificazione	87	92
	Risoluzione di problemi	86	91
	Analisi/pensiero critico	82	91
	Valutazione/gestione dell'errore (debug)	88	89
Trasversale e socio-affettivo	Collaborazione/cooperazione	84	88
	Motivazione	89	93
	Espressione	86	92
	Metacognizione	85	87
	Socio-relazionale	75	79
Prassico-motorio	Motricità/coordinazione	82	80

Si osserva una convergenza alta tra RE e coding sulle competenze strategiche (pianificazione, *problem solving*, gestione dell'errore), con scarti contenuti a favore del *coding* nelle componenti più strettamente algoritmiche. La RE viene percepita come particolarmente positiva su dimensioni quali la motivazione, la collaborazione e la dimensione prassico-motoria, a conferma della sua specifica valenza laboratoriale ed *embodied*. Risulta doveroso precisare che i dati raccolti esprimono percezioni riferite dai docenti e non misure oggettive di apprendimento; ciononostante, possono orientare in modo utile le scelte di progettazione didattica.

Il *focus group* ha permesso di approfondire qualitativamente le ragioni sottese di tali percezioni. I docenti hanno sottolineato, ad esempio, l'importanza di progettare esperienze inclusive e sfidanti, capaci di valorizzare la creatività degli studenti e promuovere la riflessione sull'errore come occasione di apprendimento. Sono particolarmente apprezzate le attività collaborative in piccoli gruppi, che favoriscono il *peer tutoring*, la responsabilizzazione e la costruzione di un clima di classe positivo. Tuttavia, è emerso anche come la mancanza di dispositivi in numero adeguato e di ambienti di apprendimento flessibili possa ostacolare la piena realizzazione di tali potenzialità. Le evidenze qualitative del *focus group* corroborano il quadro quantitativo, chiarendo i meccanismi sottesi alle scelte didattiche (centralità del lavoro cooperativo, ruolo formativo dell'errore, necessità di setting flessibili). Altri fattori critici individuati riguardano l'usabilità e l'accettabilità dei dispositivi. I robot ritenuti più adatti sono quelli che presentano un'interfaccia intuitiva, possibilità di programmazione visuale e feedback immediato. Le esperienze di successo sembrano essere quelle che si inseriscono in contesti di apprendimento attivo e laboratoriale, dove gli studenti possono esplorare, manipolare e costruire il sapere in maniera esperienziale. In tal senso, i docenti evidenziano la necessità di costruire un progetto educativo fondato su una solida cornice pedagogica, capace di integrare le tecnologie in modo funzionale e non tecnocentrico.

Un ulteriore dato di rilievo riguarda la discrepanza tra la visione positiva della RE e la sua scarsa penetrazione nella progettualità curricolare. Pur riconoscendo la coerenza della RE con le indicazioni ministeriali per il curricolo verticale e interdisciplinare, molti insegnanti lamentano la mancanza di materiali di supporto, linee guida chiare e modelli didattici replicabili. La richiesta di guide operative, esempi di unità di apprendimento già testate e percorsi di co-progettazione emerge con forza, così come l'interesse verso comunità di pratica e piattaforme collaborative per lo scambio di esperienze (ad esempio *WeTurtle* e *Roteco*).

In conclusione, lo studio di Bonaiuti e colleghi (2022b) restituisce una fotografia articolata della percezione degli insegnanti italiani nei confronti della RE. Ne emerge un quadro ambivalente, in cui all'interesse e all'entusiasmo dichiarato si affiancano incertezze, timori e ostacoli concreti. Le barriere più rilevanti risultano essere la scarsa formazione, la mancanza di risorse materiali, la difficoltà nel pianificare e valutare percorsi coerenti e l'assenza di supporto tecnico e pedagogico. Tuttavia, le potenzialità riconosciute alla RE e la disponibilità dei docenti a mettersi in gioco rappresentano elementi promettenti, che meritano di essere sostenuti da politiche formative mirate, investimenti strutturali e un'azione pedagogica integrata e condivisa. Affinché la RE diventi un reale catalizzatore di innovazione e inclusione, è necessario sostenere i docenti con percorsi di formazione continua, comunità professionali di pratica e strumenti didattici solidi e validati, capaci di colmare il divario tra percezioni positive e attuazione concreta. In sintesi, l'adozione della RE è funzione congiunta di condizioni organizzative,

disponibilità di risorse e, soprattutto, sviluppo professionale mirato. Per passare dalle percezioni a una lettura sistematica e misurabile delle condizioni di adozione, il paragrafo seguente introduce un quadro analitico-operativo e il RIQ, strumento che consente di mappare in modo comparabile i quattro fattori chiave dell'integrazione della RE e di metterli in relazione con scelte curricolari e decisioni didattiche.

5.2 Determinanti del successo della RE: evidenze e ricadute

A partire dalle criticità e potenzialità emerse nel precedente paragrafo, si presenta in questa sede un quadro analitico e operativo per leggere le condizioni di adozione della RE, introducendo il RIQ e i quattro fattori che ne guidano la progettazione formativa. Dopo aver delineato i presupposti teorici e le sfide legate alla formazione dei docenti, infatti, ci si concentrerà sugli strumenti pratici e analitici utili a supportare l'integrazione della RE. In particolare, l'attenzione è rivolta alle dimensioni legate all'insegnamento della RE che hanno dato forma al questionario validato in lingua italiana di cui abbiamo parlato nel terzo capitolo.

Si analizzeranno dunque in modo più sistematico le condizioni che influenzano l'effettiva implementazione della RE nella scuola. Se da un lato la letteratura e gli studi empirici evidenziano il potenziale trasformativo della RE sul piano cognitivo, motivazionale e relazionale, dall'altro persiste l'urgenza di identificare con precisione i fattori che possono facilitarne o ostacolarne l'integrazione curricolare. I dati raccolti da Bonaiuti e colleghi (2022b) evidenziano una chiara discrepanza tra la percezione positiva dei docenti italiani nei confronti della RE – riconosciuta come uno strumento didattico inclusivo, motivante e capace di promuovere competenze trasversali – e la sua scarsa presenza nella pratica didattica quotidiana. Nonostante l'alto grado di interesse dichiarato, permangono criticità strutturali e professionali, come la carenza di formazione specifica, la limitata disponibilità di risorse e l'assenza di riferimenti metodologici chiari.

In questo scenario, diventa quindi necessario disporre di strumenti analitici validati, in grado di restituire un quadro accurato e multidimensionale della predisposizione degli insegnanti verso l'utilizzo della robotica in ambito scolastico. Il RIQ rappresenta, in questa prospettiva, una risorsa di particolare rilievo. Inizialmente sviluppato e validato nel contesto portoghese (Dorotea *et al.*, 2021), il questionario è stato successivamente adattato e validato in Italia, coinvolgendo docenti di ogni ordine e grado (Agus *et al.*, 2023; Marras *et al.*, 2024b).

Il RIQ nasce con l'obiettivo di rilevare non solo l'interesse verso la RE, ma anche le dimensioni più complesse e determinanti per la sua implementazione didattica, come l'autoefficacia percepita, le competenze possedute, le attitudini collaborative e la capacità di affrontare situazioni problematiche. Di seguito si fornisce una sintesi concettuale e le implicazioni delle quattro dimensioni sottese all'insegnamento della RE a scuola.

1. *Autoefficacia e conoscenze in RE:* riguarda la fiducia nelle proprie competenze tecniche e didattiche, nonché la padronanza degli strumenti necessari per integrare efficacemente la RE nella pratica educativa (Tabella 16).

Tabella 16. Dimensione di autoefficacia e conoscenza in RE: sintesi concettuale e implicazioni

Aspetto	Contenuto sintetico
Definizione	L'autoefficacia è la convinzione nella propria capacità di organizzare e portare a termine un compito. Nella RE si traduce nella fiducia del docente nell'utilizzare strumenti robotici e progettare attività didattiche innovative.
Importanza educativa	Alti livelli di autoefficacia sono associati a: migliore qualità dell'insegnamento; maggiore motivazione e resilienza professionale; riduzione del *burnout*; disponibilità all'apprendimento permanente.
Fattori che la influenzano	Esperienze dirette e pratiche; modelli di riferimento; *feedback* costruttivi; clima collaborativo; formazione metodologicamente orientata.
Ruolo del RIQ	Il RIQ rileva i livelli di autoefficacia specifici per la RE, consentendo: diagnosi dei bisogni formativi; personalizzazione degli interventi; monitoraggio dei progressi nella formazione; supporto a una progettazione didattica consapevole.
Implicazioni formative	Formazione attiva e laboratoriale indispensabile per sviluppare fiducia e competenza; utile già in fase di formazione iniziale; elemento chiave per il successo delle pratiche didattiche con la RE.

2. *Interesse per la RE e le STEM*: esprime la motivazione personale, l'atteggiamento positivo e la propensione all'utilizzo della robotica e delle tecnologie digitali nell'insegnamento (Tabella 17).

Tabella 17. Dimensione di interesse nelle aree STEM e nella RE: sintesi concettuale e implicazioni

Aspetto	Contenuto sintetico
Definizione	Propensione degli insegnanti verso la RE e le discipline STEM.
Importanza educativa	Predittore significativo della qualità dell'insegnamento e dell'efficacia didattica.
Benefici documentati	Promozione del pensiero computazionale, *engagement*, motivazione, inclusione e contrasto agli stereotipi di genere.
Fattori che favoriscono l'interesse	Formazione specifica, esempi di buone pratiche, strumenti intuitivi e motivazione intrinseca.
Ostacoli rilevati	Scarsa formazione, conoscenze limitate, mancanza di modelli di riferimento.
Implicazioni didattiche	Necessità di promuovere percorsi formativi che stimolino interesse e approfondimento critico.

3. *Collaborazione*: misura la disponibilità a lavorare con altri insegnanti, a condividere strategie e a co-progettare attività didattiche centrate sulla RE (Tabella 18).

Tabella 18. Dimensione di collaborazione: sintesi concettuale e implicazioni

Aspetto	Contenuto sintetico
Definizione della dimensione	Predisposizione degli insegnanti al lavoro in team, alla co-progettazione didattica e allo scambio professionale con i colleghi.
Livelli di impatto	- Individuale: benessere, motivazione, riduzione dell'isolamento. - Istituzionale: cultura scolastica condivisa. - Studentesco: coerenza didattica, migliori esiti.
Benefici documentati	Aumento dell'efficacia didattica, sviluppo professionale, miglioramento delle competenze digitali, maggiore soddisfazione lavorativa.
Concetti chiave associati	Efficacia collettiva, autoefficacia professionale, comunità di pratica, *peer learning*, innovazione collaborativa.
Connessioni con RE	La RE richiede spesso co-progettazione interdisciplinare e collaborazione per la gestione di ambienti laboratoriali.

Aspetto	Contenuto sintetico
Ruolo nel RIQ	La collaborazione è una delle 4 dimensioni misurate per valutare la predisposizione all'insegnamento della robotica.
Strumenti e pratiche suggerite	*Peer tutoring*, architetture collaborative, comunità di pratica (es. Roteco), co-progettazione didattica, condivisione di materiali e *feedback.*
Implicazioni per la formazione	Necessità di percorsi formativi che promuovano il *team teaching*, il lavoro cooperativo tra docenti e la riflessione condivisa sulle pratiche educative.

4. *Problem solving*: valuta la capacità percepita di affrontare compiti complessi, risolvere problemi e gestire situazioni impreviste all'interno di contesti educativi tecnologici e innovativi (Tabella 19).

Tabella 19. Dimensione del *problem solving*: sintesi concettuale e implicazioni

Aspetto	Contenuto sintetico
Definizione	Capacità di affrontare problemi in ambienti innovativi, attraverso strategie logico-algoritmiche e soluzioni pianificate.
Relazione con la RE	La RE consente agli studenti di progettare e programmare per risolvere problemi e compiti autentici e complessi, attivando il pensiero computazionale.
Indicatori principali	Abilità di astrazione, decomposizione, formulazione di algoritmi, generalizzazione, *debugging*, valutazione di soluzioni.
Valore pedagogico	Promuove l'apprendimento attivo, la responsabilità individuale, la riflessione metacognitiva e la perseveranza.
Ruolo del docente	I docenti con buone competenze di *problem solving* facilitano l'apprendimento, progettano percorsi innovativi e supportano l'interdisciplinarità.
Validazione con il RIQ	I docenti esperti in RE ottengono punteggi significativamente più alti nella dimensione del *problem solving*.
Implicazioni formative	La promozione del pensiero computazionale richiede percorsi di formazione esperienziale e cooperativa, fin dalla scuola dell'infanzia.
Evidenze internazionali	Impatto positivo della RE sullo sviluppo di abilità trasversali utili alla cittadinanza digitale e alla risoluzione creativa di problemi.

L'analisi delle dimensioni del RIQ consente, in particolare, di:

- identificare i bisogni formativi dei docenti;
- valutare l'impatto delle attività di aggiornamento professionale;
- pianificare interventi mirati alla costruzione di competenze specifiche;
- promuovere la nascita di comunità di pratica centrate sull'uso pedagogico della robotica.

In tal senso, il RIQ non è solo un dispositivo "diagnostico", ma anche un modello interpretativo capace di collegare le pratiche didattiche alle dimensioni che ne condizionano l'efficacia. La rilevazione di aspetti come la collaborazione, la fiducia nelle proprie competenze e l'interesse verso l'innovazione consente infatti di tracciare profili professionali utili per calibrare in modo differenziato la formazione in ingresso e in servizio.
Per tali ragioni, l'utilizzo del RIQ nei contesti educativi rappresenta un'opportunità strategica per la promozione di una cultura della valutazione delle competenze professionali in relazione all'uso delle tecnologie. La possibilità di misurare, confrontare e monitorare le disposizioni degli insegnanti verso la RE consente non solo di valorizzare le pratiche già consolidate, ma

anche di individuare i punti critici su cui intervenire per garantire un'integrazione autentica e sostenibile della robotica nei curricoli scolastici. Dopo aver definito i quattro fattori e il relativo dispositivo di rilevazione, si esaminerà nel prossimo paragrafo come l'*expertise* in RE si associ a livelli differenti in ciascuna dimensione, con ricadute metodologiche e organizzative.

5.3 L'impatto dell'*expertise* in RE sulle decisioni didattiche

Come già asserito, l'implementazione della RE richiede un'elevata competenza da parte dei docenti, sia sul piano tecnologico che pedagogico. In tal senso, l'expertise in RE assume un ruolo strategico: esso rappresenta una variabile capace di influenzare significativamente le decisioni didattiche, le scelte metodologiche, l'adozione di pratiche collaborative e la percezione dell'auto-efficacia professionale. L'impatto dell'expertise in RE è stato indagato nell'ambito di una ricerca (Marras *et al.*, 2024) che ha coinvolto 823 insegnanti di scuole pubbliche italiane (età media 48.63 anni; ds=9.22), con prevalenza femminile (78%; 19% maschi; 2% non dichiara). I docenti partecipanti all'indagine operano nei diversi ordini di scuola: infanzia (10.9%), primaria (35.4%), secondaria di I grado (22.5%), secondaria di II grado (31.2%). L'anzianità media di servizio è pari a 17.67 anni (ds=11.41). Quanto alla loro formazione iniziale, circa un terzo ha titoli in ambito STEM (34.0%), un quinto in ambito umanistico (20.2%), il 7.9% in Scienze della formazione primaria, il 3.8% in ambito espressivo, mentre il 34.1% ha conseguito un diploma (magistrale/ISEF/tecnico); in termini di accesso alla cattedra, 33.7% con diploma e 66.7% con laurea. Oltre due quinti dichiarano almeno un titolo *post lauream* (percentuali non mutuamente esclusive): Master I livello 16%, Master II livello 9%, Specializzazione sul sostegno 23%, Dottorato 7%; l'8.4% possiede più di un titolo avanzato. Un quarto dei partecipanti (25%) ricopre incarichi aggiuntivi (ad es., vicario 8%, funzione strumentale 19%, animatore digitale 12%, esperto PON 21%, responsabile di laboratorio 17%); 19.2% riferisce più di un incarico (infanzia 0.2%; primaria 6%; secondaria I 4.9%; secondaria II 7.9%). La distribuzione geografica risulta ampia: Nord Italia 27.8%, Centro e Sardegna 28.3%, Sud e Sicilia 43.9%. Nel complesso, il 68.8% non ha pregressa esperienza di RE, dato utile a interpretare le differenze di *expertise* discusse nel seguito.
A fronte di tale cornice, si analizzerà come i livelli di *expertise* in RE si associno ai quattro fattori esplorati dal RIQ, traducendosi in scelte metodologiche, organizzative e valutative osservabili in classe. Lo studio (Marras *et al.*, 2024b) offre una fotografia approfondita dell'impatto dell'*expertise* in RE sulle quattro dimensioni misurate dal RIQ: autoefficacia e conoscenze, interesse verso la RE e le STEM, collaborazione tra docenti e capacità di *problem solving*. I risultati (Tabella 20) mostrano che i docenti con alta *expertise* in RE riportano punteggi medi significativamente più elevati in ciascuna delle dimensioni indagate. Tali dati, confermati da test statistici significativi ($p<.001$), rafforzano la validità discriminante del RIQ e sottolineano come l'*expertise* sia una variabile affidabile della predisposizione all'adozione consapevole della RE.

Tabella 20. Statistiche descrittive per i 4 fattori del RIQ, distinguendo docenti con bassa e alta *expertise. Fonte: rielaborazione da Marras e colleghi (2024b)*

Fattore RIQ	Expertise	N	Media	DS
F1 Autoefficacia e conoscenza RE	bassa	566	2.36	0.799
	alta	257	3.84	0.715
F2 Interesse per RE e STEM	bassa	566	3.96	0.628
	alta	257	4.48	0.486
F3 Lavoro collaborativo	bassa	566	4.23	0.545
	alta	257	4.41	0.537
F4 *Problem solving*	bassa	566	3.96	0.628
	alta	257	4.44	0.528

I docenti esperti, avendo una buona percezione di autoefficacia e padronanza delle conoscenze specifiche, si sentono maggiormente in grado di progettare attività di RE, integrare il robot nei percorsi curricolari e supportare gli studenti nello sviluppo del pensiero computazionale. Questa sicurezza è determinante per garantire una didattica efficace, la letteratura internazionale, infatti, conferma che a un'elevata autoefficacia nei docenti corrisponde un miglioramento della qualità dell'insegnamento, una maggiore motivazione professionale e un impatto positivo sugli apprendimenti degli studenti (Bandura, 1994; Zee & Koomen, 2016). Allo stesso modo, non sorprende che l'interesse verso la RE e le discipline STEM risulti più marcato tra i docenti esperti. Tale aspetto è rilevante in quanto l'interesse per la RE porta a un atteggiamento positivo nei confronti dell'innovazione, facilitando l'adozione di pratiche didattiche innovative che favoriscono l'*engagement* degli studenti, la curiosità scientifica e l'orientamento verso percorsi accademici e professionali in ambito STEM (Benitti, 2012; Sullivan, 2008; Toh *et al*., 2016). Particolarmente significativa è anche la correlazione tra *expertise* e propensione alla collaborazione tra pari. I docenti esperti mostrano una maggiore apertura al lavoro in *team*, alla co-progettazione e alla condivisione di pratiche didattiche. Tale predisposizione si riflette in una più ampia disponibilità a sperimentare modelli cooperativi come il *peer tutoring*, le architetture collaborative e il *problem solving* condiviso. La letteratura pedagogica evidenzia come il lavoro collaborativo tra insegnanti incida positivamente sul clima scolastico, sul benessere professionale e sull'innovazione metodologica (OECD, 2014; Hattie, 2015; Vangrieken *et al*., 2015). Relativamente alla quarta dimensione – *problem solving* e pensiero computazionale – i docenti con alta *expertise* risultano maggiormente capaci di affrontare compiti complessi, di pianificare percorsi di apprendimento incentrati sulla scoperta e di promuovere attività pratiche e laboratoriali. Tali competenze sono centrali nell'insegnamento della RE che stimola negli studenti capacità logiche, strategiche e creative. Il *problem solving*, in particolare, si configura come un'abilità trasversale essenziale nella progettazione didattica, capace di supportare lo sviluppo delle competenze chiave per il *lifelong learning*.

L'analisi dei dati ha evidenziato inoltre che l'*expertise* in RE esercita un impatto trasversale, indipendentemente dall'anzianità di servizio o dal grado scolastico di insegnamento. I docenti esperti, a prescindere dagli anni di esperienza, riportano punteggi più elevati in tutte le dimensioni del RIQ. Tale evidenza suggerisce che una formazione mirata e ben strutturata in RE può compensare eventuali incertezze iniziali, promuovendo un approccio professionale più competente, consapevole e aggiornato.

In merito all'organizzazione della classe nelle attività di RE, l'analisi descrittiva mostra una netta preferenza per architetture cooperative. La Tabella 21 sintetizza le modalità di lavoro prevalenti e le differenze tra docenti esperti e inesperti.

Tabella 21. Modalità organizzative prevalenti nelle attività di RE
Fonte: rielaborazione da Marras e colleghi (2024b)

Modalità di lavoro	Totale %	Inesperti %	Esperti %	Δ Esperti−Inesperti (punti percentuali)
Piccolo gruppo	86	83.2	88.7	+5.5
A coppie	26.3	22.5	28.8	+6.3
Classi aperte (*cross-grade*)	13.7	8.7	17.1	+8.4
Individuale	17.4	21.5	14.5	−7.0
Nota: risposte multiple; percentuali calcolate entro gruppo - Inesperti n=173; Esperti n=257; n=430				

Il piccolo gruppo costituisce l'assetto organizzativo standard nella RE (86%), mentre il lavoro individuale è minoritario e tende a ridursi con l'aumentare dell'*expertise*. I docenti esperti dichiarano più spesso l'utilizzo di suddivisione degli alunni a coppie o per classi aperte, suggerendo maggiore disponibilità a distribuire ruoli, a co-progettare e a lavorare in ambienti di apprendimento flessibili (*cross-grade*). Nel complesso, l'*expertise* si associa a pratiche più cooperative e inclusive, coerenti con l'epistemologia progettuale della RE. Tali evidenze organizzative confermano quanto la dimensione collaborativa non sia accessoria, ma costituisca un requisito che si rafforza con l'esperienza e che impatta sulle scelte metodologiche e valutative. Si consideri inoltre l'influenza dell'*expertise* sulle metodologie didattiche privilegiate. In relazione alle metodologie didattiche ritenute idonee per l'implementazione della RE, emergono infatti differenze significative tra docenti con bassa e alta expertise. La Tabella 22 sintetizza le percentuali di preferenza e gli esiti dei test del Chi quadro (χ^2).

Tabella 22. Metodologie ritenute idonee per la RE in funzione dell'expertise
Fonte: rielaborazione da Marras e colleghi (2024b)

Metodologia	Inesperti (%)	Esperti (%)	Totale (%)	$\chi^2(1)$	p
Problem solving	61.3	75.5	69.8	9.481	0.002
Collaborativa	42.2	55.6	50.2	6.191	0.013
Peer tutoring	37.6	52.9	46.7	10.021	0.002
Didattica laboratoriale	30.6	46.3	40.0	10.257	0.001
Per prove ed errori	24.9	41.2	34.7	11.908	0.001
Per progetti	12.7	31.5	24	17.670	0.001
Esplorazione (guidata)	19.1	27.2	24	4.138	0.042
Storytelling	31.2	31.9	31.6	0.100	0.995
Indagine scientifica (inquiry)	10.4	15.2	13.3	1.262	0.261
Gioco libero o apprendimento per scoperta	26.6	29.6	28.4	0.330	0.566
Nota: risposte multiple; % su docenti del gruppo: inesperti (n=173); esperti (n=257); gdl=1)					

I docenti con maggiore *expertise* in RE tendono a privilegiare metodologie attive, iterative e cooperative – in particolare per progetti (Δ=+18,8 punti percentuali), prove ed errori (+16,3), laboratoriale (+15,7), *peer tutoring* (+15,3), *problem solving* (+14,2) e collaborativa (+13,4). Non emergono differenze significative per *storytelling*, *inquiry* e gioco libero, che risultano scelte in modo simile dai due gruppi. Nel complesso, l'*expertise* si associa a scelte didattiche che

enfatizzano cicli di progettazione-*test-debug* e lavoro tra pari, coerenti con l'epistemologia della RE. Tali evidenze orientano l'analisi delle quattro dimensioni presentate, mostrando come l'*expertise* in RE si traduca in scelte metodologiche che valorizzano autoefficacia, collaborazione e *problem solving* in chiave progettuale.

Sul piano degli apprendimenti degli studenti, i dati raccolti (Marras *et al.*, 2024) evidenziano, inoltre, che secondo i docenti le attività di RE potenziano soprattutto le dimensioni creative, cognitive, organizzative e motivazionali. Tuttavia, i docenti con maggiore *expertise* in RE promuovono incrementi più ampi in tutte le dimensioni rispetto ai colleghi con bassa *expertise*; le differenze tra i due gruppi risultano significative al test di Wilcoxon per tutti gli aspetti esaminati ($p<.001$). Ciò rafforza l'idea che l'*expertise* non solo arricchisce il repertorio professionale dei singoli docenti, ma può potenzialmente produrre impatti più concreti sugli apprendimenti.

Il contesto qui emerso, rende necessaria la promozione di percorsi formativi in grado di sviluppare competenze specifiche nella RE, favorendo un approccio integrato tra conoscenze disciplinari, tecnologie educative e strategie metodologiche. In tal senso, il RIQ si propone come uno strumento strategico per la valutazione e la progettazione formativa. La sua adozione nei percorsi universitari e di aggiornamento in servizio consente di mappare i bisogni, valutare i progressi e orientare le scelte didattiche sulla base di evidenze empiriche. La formazione iniziale e continua in questo ambito è essenziale per promuovere una comprensione profonda del potenziale educativo della RE e per rafforzare la fiducia dei docenti nell'uso consapevole delle tecnologie in classe (Giannandrea *et al.*, 2021). Il RIQ, in qualità di strumento validato e multidimensionale, si configura come un termometro utile per i formatori, per i dirigenti scolastici e per i decisori politici, offrendo una base oggettiva per la definizione di politiche educative sostenibili e per lo sviluppo dei corsi di formazione.

Si deve inoltre asserire come, in ultima analisi, l'*expertise* in RE rappresenti una leva cruciale per l'innovazione scolastica. Investire sulla professionalità docente, offrendo percorsi formativi strutturati, strumenti di valutazione affidabili e contesti di apprendimento collaborativi, significa agire concretamente per il miglioramento della qualità dell'istruzione e per l'inclusione di pratiche educative orientate al futuro. La RE guidata da docenti competenti diventerebbe uno spazio privilegiato per costruire una scuola capace di valorizzare le intelligenze multiple, promuovere l'equità e coltivare il pensiero critico.

Tali evidenze sull'impatto dell'*expertise* orientano direttamente le scelte formative e di *policy*: il prossimo paragrafo sintetizza le implicazioni e le priorità per la progettazione della formazione docenti e per la scalabilità della RE.

5.4 Conclusioni e implicazioni per la formazione docenti

L'analisi presentata in questo capitolo conferma che il successo dell'integrazione della RE a scuola dipende da una combinazione di fattori individuali, professionali e organizzativi. Il contributo del RIQ non solo fotografa l'interesse, le conoscenze e le competenze dei docenti verso la RE, ma individua le aree strategiche su cui concentrare l'intervento formativo.

Le quattro dimensioni individuate – autoefficacia e conoscenze in RE, interesse per la RE e le STEM, collaborazione e *problem solving* – rappresentano fattori fondamentali per costruire un sistema educativo capace di integrare in modo consapevole, efficace e inclusivo le tecnologie didattiche emergenti (Tabella 23). In tale quadro, l'*expertise* dei docenti in RE determinante: orienta le scelte metodologiche, qualifica le pratiche d'aula e modula le dinamiche di lavoro tra pari. Coerentemente con questo scenario, i dati empirici dimostrano che i docenti più esperti in RE ottengono punteggi più elevati in tutte le dimensioni del RIQ e adottano approcci maggiormente innovativi, collaborativi e centrati sugli studenti.

Tabella 23. Sintesi dei fattori chiave per l'integrazione della RE a scuola e implicazioni per la formazione docente

Fattore del RIQ	Descrizione	Implicazioni per la formazione
F1. Autoefficacia e conoscenze in RE	Fiducia del docente nelle proprie competenze tecniche e pedagogiche legate alla RE.	Rafforzare il *learning by doing*, offrire formazione pratica e *feedback* personalizzati.
F2. Interesse per RE e STEM	Motivazione personale verso la robotica e le discipline tecnico-scientifiche.	Promuovere attività significative, ispiranti e contestualizzate per stimolare l'*engagement*.
F3. Collaborazione tra docenti	Disponibilità a lavorare in *team*, condividere pratiche e progettare in modo cooperativo.	Facilitare comunità di pratica, *peer learning* e co-progettazione tra insegnanti.
F4. Competenze di *problem solving*	Capacità di affrontare sfide didattiche in ambienti complessi e tecnologici.	Sviluppare pensiero computazionale, flessibilità operativa e progettazione iterativa.

Sul piano formativo, rafforzare l'autoefficacia e le conoscenze in RE significa mettere i docenti nelle condizioni di operare con i robot in contesti autentici e guidati, ricevendo *feedback* mirati e traducendo la pratica in azioni didattiche concrete. Sostenere il loro interesse implica proporre compiti significativi e contestualizzati, capaci di collegare i temi della robotica ai saperi disciplinari e a questioni vicine al vissuto degli studenti, così da alimentare un coinvolgimento motivazionale stabile. Promuovere la collaborazione necessita della costruzione di comunità di pratica e di momenti strutturati di co-progettazione e osservazione reciproca, in cui materiali, criteri e *micro-routine* siano condivisi e progressivamente raffinati. Potenziare il *problem solving*, infine, significa favorire una progettazione iterativa e riflessiva, in cui la scomposizione dei problemi, il test di soluzioni alternative e la documentazione dei passaggi rendano visibili i processi decisionali e le strategie adottate. Integrate in un percorso coerente, le dimensioni si potenziano reciprocamente: l'aumento di *expertise* promuove l'autoefficacia, quest'ultima sostiene l'interesse e la disponibilità a collaborare, e la collaborazione incentiva l'apprendimento di strategie di *problem solving*. In tal modo, la formazione non si limita a introdurre strumenti, bensì accompagna i docenti nell'orchestrazione pedagogica della RE, trasformando la tecnologia in una vera opportunità per l'apprendimento e l'inclusione.

L'esperienza formativa intensiva del *Robotic Camp* (Negrini *et al.*, 2025b) – strutturata secondo un modello laboratoriale ispirato alle raccomandazioni di Schina e colleghi (2021) – offre un esempio virtuoso: ha offerto un ambiente didattico favorevole all'apprendimento collaborativo, all'approfondimento delle competenze tecniche e alla riflessione pedagogica, producendo un impatto misurabile sulle dimensioni del RIQ.

I risultati quantitativi del *camp* evidenziano infatti un incremento statisticamente significativo nella dimensione dell'autoefficacia e conoscenze in RE ($p<.001$), seguita da un miglioramento rilevante nelle competenze collaborative ($p=.050$), con una tendenza positiva anche per

l'interesse verso la RE/STEM, e per le capacità di *problem solving*. Tali evidenze trovano ulteriore sostegno nei dati qualitativi: il confronto con colleghi provenienti da contesti linguistici e scolastici eterogenei ha accresciuto, tra i docenti, la motivazione, il senso di appartenenza e la fiducia nell'impiego didattico delle tecnologie. È particolarmente rilevante che l'efficacia formativa del *camp*, che ha coinvolto insegnanti di diversi ordini di scuola, sia risultata trasversale, indipendente dall'età, dal genere e dall'anzianità di servizio. Tali risultati corroborano l'idea che la competenza in RE non dipenda esclusivamente dall'esperienza professionale, ma sia favorita dall'accesso a esperienze formative significative e strutturate, come quelle previste dal *format* del camp. In questa prospettiva, il RIQ si configura come uno strumento utile sia per la valutazione pre–post degli esiti formativi sia per orientare la personalizzazione degli interventi, nel quadro di un approccio *evidence-based* alla progettazione educativa. Il potenziale del RIQ risiede proprio nella sua capacità di offrire un quadro multidimensionale delle disposizioni dei docenti, utile sia ai formatori sia ai decisori istituzionali per monitorare l'impatto delle politiche educative e degli investimenti nella formazione in RE.
Accanto a ciò, la costruzione di una comunità professionale come quella di *Roteco* rappresenta un elemento strategico per garantire la sostenibilità dell'apprendimento nel tempo, offrendo supporto, confronto e risorse anche oltre la fase iniziale della formazione. L'efficacia del *Robotic Camp* dimostra che percorsi formativi intensivi, *blended* e orientati alla pratica, possono costituire un modello replicabile e adattabile, capace di rispondere in modo flessibile ai bisogni della scuola contemporanea. Affinché la RE possa diventare una pratica didattica diffusa e non episodica, è necessario altresì costruire ambienti scolastici che riconoscano il valore della collaborazione, sostengano il lavoro interprofessionale e valorizzino il ruolo attivo degli insegnanti nella progettazione educativa. L'infrastruttura è necessaria ma non sufficiente: il motore è l'investimento sulla professionalità docente. Sulla base dei risultati emersi, si rafforza l'urgenza di potenziare la formazione iniziale e continua, ispirata a modelli didattici costruttivisti, che mettano al centro l'insegnante come agente attivo dell'innovazione. Solo investendo con lungimiranza nella professionalità docente sarà possibile garantire un'integrazione autentica, consapevole e inclusiva della RE nei sistemi scolastici.
In conclusione, il capitolo ha mostrato come la formazione dei docenti rappresenti il fattore decisivo per trasformare la RE da iniziativa sperimentale a componente stabile dei curricoli scolastici. Nel complesso, i risultati convergono su un punto: non è l'infrastruttura a determinare l'innovazione, ma la professionalità docente nel mediare le tecnologie entro cornici didattiche intenzionali. In questa prospettiva, la RE diventa un laboratorio privilegiato per lo sviluppo di competenze tecnologiche, metodologiche e riflessive degli insegnanti, con ricadute sugli apprendimenti. Il capitolo successivo tradurrà tali evidenze in pratiche operative: mostrerà come applicare il modello l'UDL alla RE, offrirà orientamenti didattici informati dalle evidenze e si soffermerà sul *Robotics Learning Self-Efficacy Scale* (RLSES), illustrandone caratteristiche psicometriche, dati normativi, limiti e prospettive di sviluppo.

Capitolo 6

Progettare, implementare e valutare attività di RE

L'adozione sistematica della RE nella scuola contemporanea rappresenta una sfida e, al tempo stesso, un'opportunità per innovare le pratiche didattiche, per favorire l'inclusione e per promuovere competenze trasversali fondamentali per il XXI secolo. Affinché la RE non resti confinata a iniziative sperimentali o extracurricolari e venga pienamente integrata nei percorsi di apprendimento, è necessario supportare i docenti attraverso modelli pedagogici flessibili e adattabili, buone pratiche documentate e strumenti di monitoraggio rigorosi.
Il presente capitolo offre un quadro operativo e metodologico finalizzato a orientare l'implementazione della RE in ambito scolastico, a partire dai più recenti contributi della letteratura internazionale e dall'analisi di esperienze formative concrete. L'obiettivo è duplice: da un lato, fornire strumenti e strategie utili alla progettazione di attività didattiche inclusive e personalizzate; dall'altro, condividere esempi di pratiche efficaci già sperimentate in contesti educativi diversificati.
In particolare, il capitolo approfondisce:

- la progettazione di attività di RE secondo i principi dell'*Universal Design for Learning* (UDL), per rispondere ai bisogni educativi di tutti gli studenti;
- una selezione di orientamenti didattici basati su evidenze scientifiche, che mostrano come la robotica possa essere integrata in modo significativo nella didattica d'aula;
- la presentazione e la validazione della *Robotics Learning Self-Efficacy Scale* (RLSES), uno strumento psicometrico che consente di valutare l'autoefficacia percepita degli studenti nei percorsi di RE, offrendo così un supporto concreto alla progettazione, al monitoraggio e alla valutazione degli interventi.

Se la RE non è intesa soltanto come un insieme di strumenti tecnologici, ma una metodologia didattica trasformativa, capace di stimolare l'autonomia, la motivazione, il pensiero computazionale e il lavoro collaborativo, affinché tale potenziale possa tradursi in pratiche consolidate e sostenibili, è necessario agire sia a livello sistemico – fornendo risorse, visione e supporto organizzativo – sia a livello micro, attraverso la formazione iniziale e continua del corpo docente, la progettazione intenzionale delle attività e l'impiego di strumenti validati per la valutazione dei processi e degli esiti.

Il capitolo si rivolge quindi a insegnanti, formatori e dirigenti scolastici, con l'intento di offrire una cornice pedagogica e strumenti operativi per rendere la RE una componente stabile, inclusiva e significativa dell'esperienza scolastica.

6.1 Applicare l'UDL alla robotica educativa

L'*Universal Design for Learning* (UDL), come già sottolineato nel primo capitolo, rappresenta una cornice metodologica solida per la progettazione di attività di RE inclusive e accessibili a tutti gli studenti (CAST, 2024). Risulta pertanto naturale tentare di tradurre, nella pratica educativa, i suoi principi in modalità operative. Il presente paragrafo delinea le azioni concrete che possono guidare l'insegnante nella progettazione e implementazione di attività di RE.

Molteplici modalità di rappresentazione: il "che cosa" dell'apprendimento. Nell'ambito della RE, tale principio si concretizza attraverso l'impiego di materiali e strumenti diversificati, volti a facilitare la comprensione dei concetti chiave relativi alla programmazione, al pensiero computazionale e alla costruzione dei robot. Tra le azioni concrete si segnalano:

- l'uso di schemi visivi, mappe concettuali, modellini 3D e glossari visuali e altri strumenti analogici o digitali per supportare l'accesso semantico e simbolico ai contenuti;
- l'integrazione di video tutorial, simulazioni interattive e applicazioni visuali (es. *Scratch*, *Blockly*, *Open Roberta*), che offrono una rappresentazione dinamica, intuitiva e concreta dei processi programmativi;
- l'adattamento del linguaggio tecnico, attraverso l'impiego di parafrasi semplificate, esempi illustrati e supporti audio-visivi per gli alunni con difficoltà linguistiche o DSA.

Ambienti di programmazione come *Blue's Blocs, Blockly,* ad esempio, consentono la visualizzazione in tempo reale della sequenza e degli errori di codice, favorendo la partecipazione attiva degli studenti con difficoltà e consolidando la comprensione procedurale. L'uso intenzionale delle tecnologie rientra in questo scenario come strumento fondamentale per l'inclusione. Le tecnologie digitali si configurano, dunque, non soltanto come strumenti compensativi, ma come veri e propri mediatori cognitivi e affettivi, in grado di facilitare l'accesso ai contenuti e di promuovere l'autonomia operativa (Baldassarre & Sasanelli, 2021).
Di seguito, si propone un sintetico dispositivo valutativo come esempio volto a rilevare gli esiti osservabili relativi alla rappresentazione e a stimarne il livello di implementazione (scala 0–3), in coerenza con gli indicatori (1–3) della Tabella 24.

Box Valutazione – Principio 1: Molteplici modalità di rappresentazione

Esiti attesi osservabili.

a) Accesso ai contenuti tramite canali molteplici (testo, visualizzazioni, audio) senza dipendenza da un unico formato;

b) comprensione concettuale supportata (mappe/*flowchart* corretti, spiegazioni con lessico adeguato);

c) riduzione di fraintendimenti su comandi e simbologie.

Mini-rubrica.

Dimensione	Scala			
	0	*1*	*2*	*3*
Accessibilità (indicatore 1)	Assente	Episodica / su richiesta	Predisposta nelle fasi chiave	Integrata e usata autonomamente dagli studenti
Mediazione linguistico-simbolica (indicatore 2)	Assente	Glossari/esempi sporadici	Glossari/esempi sistematici con supporti visivi	Uso attivo e corretto di termini e/o simboli da parte degli studenti
Costruzione della conoscenza (indicatore 3)	Nessun sostegno	Organizer o dimostrazione isolata	Sequenza con organizer, esempi/non-esempi e verifica rapida	Ciclo completo: anticipazione → modellamento → pratica guidata → controllo della comprensione con correzione immediata

Evidenze e/o prodotti.

Mappe o *flowchart* prodotti dagli alunni; glossari visuali; brevi spiegazioni orali registrate.

Molteplici modalità di azione ed espressione: il "come" dell'apprendimento. Si è detto che nell'ambito della RE, è essenziale consentire agli studenti di dimostrare quanto appreso attraverso strategie diversificate, capaci di valorizzare i punti di forza individuali e di superare eventuali barriere motorie, cognitive o linguistiche. In un laboratorio di RE, ciò si traduce nella possibilità di:

- selezionare diverse interfacce e ambienti di programmazione, dai comandi fisici (*on-board*) alle app mobili intuitive che consentono la programmazione a blocchi;
- alternare compiti individuali e cooperativi, permettendo a ciascun alunno di programmare, disegnare, descrivere verbalmente o documentare il proprio processo di lavoro attraverso modalità multiple;
- introdurre tecniche di *Task Analysis* per scomporre compiti complessi (es. programmazione di loop o sensori) in fasi intermedie e sotto-obiettivi graduali, favorendo il raggiungimento progressivo dell'autonomia operativa e rendendo l'apprendimento accessibile;
- valorizzare l'uso di strumenti compensativi o assistivi (es. tastiere semplificate, comandi vocali o *software* di supporto);
- invitare gli studenti a documentare le attività svolte mediante diari di bordo, presentazioni digitali, foto, podcast o video esplicativi.

La pluralità di modalità espressive consente di valorizzare le intelligenze multiple (Gardner, 2006), sostenere l'autoefficacia e rafforzare l'inclusione attiva, in particolare per gli studenti

con BES. In quest'ottica, il docente assume il ruolo di progettista "autoriale" (Cottini, 2019), chiamato a integrare competenze didattiche, tecnologiche e relazionali nella costruzione di ambienti educativi accessibili sin dalla fase iniziale, evitando interventi compensativi *ex post*. Al fine di monitorare l'adozione del principio il seguente box lo traduce in esiti osservabili, una mini-rubrica allineata agli indicatori (4–6) della Tabella 24 ed evidenze/prodotti utili alla verifica in itinere.

Box Valutazione – Principio 2: Molteplici modalità di azione ed espressione

Esiti attesi osservabili.

a) Scelte differenziate di interfacce e/o prodotti (codice, mappa, video, presentazione) per dimostrare l'apprendimento;

b) completamento di compiti complessi mediante scomposizione e *scaffold*;

c) documentazione del processo (diario, *debug log*, rubriche).

Mini-rubrica.

Dimensione	Scala			
	0	*1*	*2*	*3*
Diversificazione di interfacce e prodotti (indicatori 4–5)	Unica modalità	Alternative offerte ma poco utilizzate	Alternative usate da più gruppi con esiti confrontabili	Scelte consapevoli e motivate; prodotti multimodali di qualità
Scomposizione / Task Analysis (indicatore 6)	Assente	Lista di passi saltuaria	Checklist e sotto-obiettivi operativi usati durante il lavoro	Uso autonomo della checklist con revisione da parte degli alunni
Documentazione del processo (indicatori 5–6)	Nessuna traccia	Documentazione sporadica	Diario di bordo regolare con evidenze di debugging	Documentazione riflessiva (errori ricorrenti, strategie, trasferibilità)

Evidenze e/o prodotti.

Diario di bordo (cartaceo o digitale); video brevi di spiegazione; codici più elaborati; rubriche compilate.

Molteplici modalità di coinvolgimento: il "perché" dell'apprendimento. La RE si connota per elevato potenziale motivazionale, in quanto propone compiti autentici, cooperativi e contestualizzati, idonei ad attivare sistemi affettivi e processi di autoregolazione.

Come evidenziato da Immordino-Yang e Damasio (2007), l'apprendimento significativo passa attraverso un coinvolgimento emotivo, che nella RE può essere sollecitato attraverso quello emozionale. Così, la progettazione di esperienze narrative (ad esempio caccia al tesoro, missioni, scenari futuri), l'attribuzione di ruoli significativi all'interno dei gruppi e l'offerta di *feedback* formativi immediati e costanti, contribuiscono a stimolare il senso di autoefficacia e a costruire un'identità positiva come studenti. Come sottolinea Lucangeli (2019), il coinvolgimento emotivo è strettamente connesso ai processi di autoregolazione, e risulta decisivo per sostenere la perseveranza e la resilienza. Le attività di RE ispirate a problemi reali (ad esempio il robot per la raccolta differenziata o per l'accessibilità degli spazi scolastici) amplificano la motivazione, offrendo agli studenti la possibilità di contribuire a un bene comune e di sentirsi protagonisti attivi della comunità.

Per amplificare l'impatto motivazionale della RE, si suggerisce di:

- progettare attività sfidanti e differenziate, calibrate sulla zona di sviluppo prossimale (Vygotsky, 1978) di ciascun alunno;
- offrire scelte significative, consentendo agli studenti di scegliere il robot da utilizzare, il contesto applicativo o la modalità di restituzione del compito;
- favorire il lavoro di gruppo, attraverso strategie di *cooperative learning*, *peer tutoring* e ruoli distribuiti all'interno dei team;
- connettere la robotica ad ambiti interdisciplinari (es. scienze, narrazione, cittadinanza, arte) per rafforzare il coinvolgimento personale ed emotivo;
- utilizzare elementi ludici e gamificati, come sfide a punti o missioni a tema, per stimolare la perseveranza e la resilienza (Negrini *et al.*, 2024).

Si propone, infine, la valutazione dell'area del coinvolgimento, mappata sugli indicatori (7–9) della Tabella 24, con l'intento di garantire coerenza tra progettazione, conduzione e monitoraggio dei laboratori.

Box Valutazione – Principio 3: Molteplici modalità di coinvolgimento

Esiti attesi osservabili.

a) Partecipazione attiva e continuativa (ruoli effettivi, *peer tutoring*);
b) persistenza di fronte agli ostacoli (strategie di aiuto, *time-boxing*, livelli progressivi);
c) segnali di autoregolazione (*goal setting*, monitoraggio, schede di riflessione metacognitiva).

Mini-rubrica.

Dimensione	Scala			
	0	*1*	*2*	*3*
Scelte significative, interessi e identità (indicatore 7)	Nessuna scelta	Scelte formali	Scelte sostanziali su robot/missione/prodotto con motivazione	Co-progettazione di obiettivi e criteri di successo
Sforzo e perseveranza (indicatore 8)	Rinuncia rapida	Persistenza solo su sollecitazione	Persistenza con supporti (carte-aiuto, livelli)	Persistenza autonoma e supporto tra pari, con gestione di tempo/compito
La capacità emotiva (indicatore 9)	Assente	Riflessioni episodiche a fine attività	Routine di monitoraggio (check-in, exit ticket, feedback formativi)	Obiettivi auto-imposti, monitoraggio in itinere e revisione delle strategie

Evidenze e/o prodotti.

Rubriche di autovalutazione; exit ticket ovvero schede di riflessione; piani di miglioramento per la lezione successiva.

La costruzione di scenari significativi e socialmente rilevanti, come la programmazione di un robot per il riciclo dei rifiuti o per l'inclusione di compagni con BES, rafforza l'identificazione e il senso di appartenenza, moltiplicando le occasioni di apprendimento.

In definitiva, l'applicazione dei principi dell'UDL alla progettazione di attività di RE consente di trasformare le esperienze didattiche in contesti inclusivi, accessibili e personalizzabili, in cui ogni studente può trovare la propria modalità di partecipazione e successo.

L'adozione dell'UDL non si limita a fornire supporti per alunni con BES, ma propone un ripensamento sistemico dell'insegnamento, capace di valorizzare la pluralità di profili cognitivi, culturali ed emotivi presenti nella classe. In questa prospettiva, il docente assume il ruolo di regista di ambienti di apprendimento flessibili, nei quali ciascun alunno può accedere ai contenuti, esprimere il proprio potenziale e trovare motivazioni per partecipare attivamente.

Se dovessimo immaginare come progettare un'attività didattica di RE che rispetti i principi dell'UDL per la scuola primaria, al fine di applicare concretamente i principi di cui sopra e scegliere gli strumenti e le strategie più adeguate, dovremmo innanzitutto effettuare un'analisi accurata del contesto scolastico. Ciò significa osservare e comprendere le caratteristiche cognitive, relazionali e motivazionali della classe, eventuali BES presenti, il livello di padronanza delle competenze digitali e il clima collaborativo già esistente.

Effettuata tale analisi è fondamentale, in secondo luogo, definire con chiarezza gli obiettivi di apprendimento, sia in termini disciplinari (ad esempio: acquisire il concetto di coordinate spaziali, pianificare una sequenza di azioni, comprendere la logica dei comandi) che in termini trasversali (ad esempio: lavorare in gruppo, sviluppare strategie di *problem solving*, potenziare l'autoefficacia e la riflessione sul processo). Si presenta qui di seguito a titolo esemplificativo l'attività dal titolo "*Alla scoperta della mappa del tesoro con Blue-Bot*". Essa prevede che gli alunni di una classe seconda primaria siano invitati a collaborare per guidare un robot su una griglia che simula una mappa illustrata, cercando di raggiungere un "tesoro" posizionato in una casella-obiettivo. Il percorso può essere progettato e tracciato attraverso diversi strumenti: alcuni alunni potranno utilizzare schemi grafici per pianificare la sequenza dei movimenti, altri preferiranno disegnare il tragitto, altri ancora saranno più propensi a descrivere a voce alta le istruzioni da impartire al robot. Nella fase operativa, ciascun alunno potrà assumere un ruolo specifico all'interno del gruppo di lavoro (ad esempio: ci sarà chi programma il robot, chi verifica i *bug*, chi documenta il percorso), così da valorizzare i punti di forza individuali e garantire un coinvolgimento attivo di tutti i partecipanti. L'attività sarà accompagnata da una sceneggiatura narrativa (ad esempio una caccia al tesoro ambientata su un'isola immaginaria) per aumentare il coinvolgimento e stimolare la curiosità. Durante la fase di verifica e restituzione, sarà possibile offrire agli studenti diverse modalità di espressione: c'è chi potrà documentare il lavoro svolto con una presentazione orale, chi preferirà illustrare il percorso attraverso disegni o mappe, chi potrà registrare un breve video o raccontare il procedimento in un diario di bordo illustrato. Il lettore troverà un box di approfondimento sull'attività di RE esposta al termine del paragrafo.

L'adozione dell'UDL nella progettazione delle attività di RE non si limita a compensare difficoltà, ma valorizza la diversità come risorsa educativa. Come affermano Baldassarre e Sasanelli (2021), l'UDL rappresenta un meta-modello pedagogico, un *framework* flessibile e fondato scientificamente che guida il docente verso una didattica orientata alla qualità, all'equità e all'*empowerment* degli studenti. Per garantire che questi principi non restino dichiarazioni di intenti, è fondamentale poterli osservare e valutare in classe. In questa direzione si colloca lo strumento UDL-OMT validato in lingua italiana al fine di valutare l'effettiva applicazione dei principi UDL nella didattica d'aula. La griglia che segue (Tabella 24) propone uno strumento di osservazione formativa volto a rilevare, in tempo reale, la coerenza dell'azione didattica con i tre principi dell'UDL nelle attività di RE. La struttura per macro-indicatori (la percezione; la

lingua e i simboli; la costruzione della conoscenza; l'interazione; l'espressione e la comunicazione; lo sviluppo delle strategie; l'accogliere interessi e identità; il sostenere lo sforzo e la perseveranza; la capacità emotiva) consente una lettura sistematica dei processi, favorendo l'individuazione di punti di forza e aree di miglioramento. L'articolazione delle colonne disaccoppia intenzionalmente le scelte progettuali/operative del docente dagli esiti osservabili sul versante degli studenti, promuovendo una documentazione autentica (codice funzionante, mappe/*flowchart*, diari di bordo, video brevi, fotografie di artefatti, *log* di *debugging* ovvero un registro sintetico degli errori riscontrati).
La scala a quattro livelli (da 0 a 3) è allineata alla logica osservativa dell'UDL-OMT e va impiegata con finalità eminentemente formativa: più che attribuire un giudizio, essa consente di monitorare l'andamento dell'implementazione nel tempo e di confrontare lezioni o setting differenti. Per incrementare l'attendibilità inter-osservatore si suggeriscono brevi sessioni di "calibrazione" tra docenti/ricercatori, con la definizione di ancore esemplificative per ciascun livello e macro-indicatore. L'uso ricorrente della griglia, eventualmente integrato da note, valutazioni di performance e artefatti prodotti dagli alunni, favorisce la triangolazione delle fonti e sostiene processi di riflessione professionale e di miglioramento continuo.

Tabella 24: Griglia di monitoraggio dei principi UDL in attività di RE

Principio UDL	**Indicatore** *"Opzioni di progettazione per…"*	**Descrizione implementazione**	**Evidenze o prodotti** *(cosa osservo)*	**Note**	**Scala (0–3)***
Molteplici modalità di rappresentazione	*1. La percezione*	Consegne in triplice formato (visivo/scritto/audio); mappa ad alta leggibilità; etichette ad alto contrasto sui tastoni; pittogrammi su carte-comando.	Scheda consegne multimodale; mappa con icone leggibili; set carte-comando con pittogrammi; foto della postazione robot con etichette.		
	2. La lingua e i simboli	Glossario visuale dei comandi (avanti/indietro/gira a destra/ gira a sinistra), riferimento gradi per le rotazioni; esempi/non-esempi di coordinate di griglia.	Glossario illustrato prodotto/consultato; mini quiz o cartoncini "vero/falso" su simbologie; brevi clip di spiegazione degli alunni.		
	3. La costruzione della conoscenza	Organizer anticipato; modellamento docente della prima micro-sequenza; verifica rapida (3 domande) prima dell'esecuzione.	*Organizer* completato; *flowchart* iniziali; risultati della verifica rapida (es. 2/3 corrette).		
Molteplici modalità di azione ed espressione	*4. L'interazione*	Scelta tra tasti on board sul dorso del Blue-Bot, app Blue's blocs, manipolazione carte-comando; percorso accessibile (spazi ampi, marcatori a terra).	Foto o video dell'uso delle diverse interfacce; *layout* del percorso; adattamenti posturali/di accesso.		
	5. L'espressione e la comunicazione	Prodotti alternativi: codice via app o *flowchart* o descrizione orale.	*Flowchart* o cartelloni; clip del gruppo; eventuale poster o diagramma del percorso.		
	6. Lo sviluppo delle strategie	*Task analysis*; *time-boxing* per cicli rapidi; ruoli rotanti (programmatore/*debugger*/documentarista).	Checklist compilate; diario di bordo con registro errori e correzione; tabella rotazione ruoli firmata dagli alunni.		

Principio UDL	Indicatore *"Opzioni di progettazione per…"*	Descrizione implementazione	Evidenze o prodotti *(cosa osservo)*	Note	Scala (0–3)*
Molteplici modalità di coinvolgimento	*7. L'accogliere interessi e identità*	Scenario narrativo (tesoro); scelta del percorso/uscita e dell'*output* (video/*flowchart*/poster); obiettivi di squadra dichiarati.	Foto dei cartellini "missione"; schede di scelta; cartellone con obiettivi di squadra.		
	8. Il sostenere lo sforzo e la perseveranza	Livelli di sfida A/B/C; carte-aiuto contingentate; *feedback* formativi frequenti; *peer tutoring* tra gruppi vicini.	Registro uso carte-aiuto; annotazioni del docente su tentativi/progressi; brevi clip di *peer tutoring.*		
	9. La capacità emotiva	*Exit ticket* individuale (strategia utile/errore utile); autovalutazione 0–3; micro-obiettivo per la prossima lezione.	*Exit ticket* raccolti; griglia di autovalutazione; foto dei "prossimi passi" dei gruppi.		
* Scala 0–3 (coerente con l'UDL-OMT): 0=Assente; 1=Presente su richiesta/episodico; 2=Presente in modo routinario; 3=Implementazione dinamica, interattiva e distribuita nella classe. Il livello (0–3) per ciascun principio deriva dalla media arrotondata dei tre criteri dei corrispondenti Box.					

La Tabella 25 ha invece natura esemplificativa e non prescrittiva: essa fornisce repertori operativi, mappati sui nove ambiti UDL, per tradurre i principi in decisioni didattiche concrete nei laboratori di RE. Gli esempi selezionati coprono sia la dimensione dell'accessibilità (sottotitoli, descrizioni ALT, contrasto, font leggibili; etichettatura coerente dei comandi; percorsi fisici accessibili) sia la dimensione didattico-metodologica (glossari visuali, *organizer* anticipati, *flowchart*, *task analysis*, ruoli distribuiti, *time-boxing*, *peer tutoring*) e quella motivazionale-autoriflessiva (scenari narrativi, livelli di sfida, criteri di successo esplicitati, *exit ticket*, pratiche di co-regolazione).

Tabella 25: Esempi di possibili indicatori UDL da inserire nelle schede di monitoraggio delle attività di RE

Indicatore UDL V3.0 (CAST, 2024)	Esempi operativi per la robotica educativa
1. La percezione	- Sottotitoli ai video; immagini con testo ALT; alto contrasto e font leggibili. - Consegne anche in audio; pittogrammi sui passi di montaggio/cablaggio. - Tavola comandi del robot con etichette grandi/colori coerenti.
2. La lingua e i simboli	- Glossario visuale dei blocchi (avanza, ruota, *loop*) e dei sensori. - Esempi concreti di variabili/coordinate; conversione gradi (rotazioni). - Istruzioni semplificate o multilingua per consegne e rubriche.
3. La costruzione della conoscenza	- Organizer anticipato dell'attività; *flowchart* del programma. - Dimostrazione breve (un *think-aloud* ovvero una strategia di modellamento in cui il docente esegue un micro-compito pensando ad alta voce, rendendo esplicite scelte, criteri e controlli) con esempi/non-esempi. - Quiz di controllo comprensione con immagini/sequenze.

Indicatore UDL V3.0 (CAST, 2024)	Esempi operativi per la robotica educativa
4. L'interazione	- Tasti grandi/switch; telecomando/app *touchscreen*. - Supporti per stabilizzare robot o componenti; tavolo a altezza adeguata. - Percorsi accessibili (spazi larghi, marcatori visivi a terra).
5. L'espressione e la comunicazione	- Scelta del prodotto: codice, mappa del percorso, video spiegato, poster. - Moduli di documentazione: diario di bordo con immagini. - Presentazioni brevi con griglia di criteri visibile.
6. Lo sviluppo delle strategie	- Checklist della procedura (pianificazione → costruzione → *testing* → *debugging* → riflessione). - *Time-boxing* per cicli rapidi; ruoli rotanti (programmatore/*tester*/documentarista). - Bacheca dei *bug* e delle strategie di correzione.
7. L'accogliere interessi e identità	- Scenari narrativi (missione/spedizione) o problemi reali (es. riciclo). - Scelta del robot o della missione; obiettivi di squadra significativi. - Collegamenti a discipline/contesti vicini agli studenti.
8. Il sostenere lo sforzo e la perseveranza	- Livelli di sfida graduali; criteri di successo visibili. - *Feedback* frequente e incoraggiante; *peer tutoring*. - Carte "aiuto" limitate per evitare l'intervento costante del docente.
9. La capacità emotiva	- *Exit ticket* su strategia usata/errore utile. - Autovalutazione con rubriche visive (0–3); *goal setting* per la lezione successiva. - Spazi di calma/pausa e tecniche di co-regolazione nei team.

In fase di progettazione, la tabella può essere impiegata come fulcro di suggerimenti per garantire pluralità di rappresentazione, azione/espressione e coinvolgimento; durante la conduzione dell'attività, come repertorio di micro-strategie per rispondere a bisogni emergenti; nella fase di valutazione, come matrice per collegare scelte didattiche ed evidenze raccolte con la griglia di monitoraggio (Tabella 24). È opportuno, in ogni caso, adattare gli indicatori al contesto (ordine di scuola, composizione della classe, materiali/robot disponibili ecc.), mantenendo la coerenza con gli obiettivi dichiarati e con i criteri dell'UDL: anticipazione della variabilità, flessibilità dei mezzi, autenticità dei compiti e *feedback* formativi continui.

Tale progettazione didattica, attenta alla flessibilità dei materiali, delle strategie e dei prodotti attesi, si muove in coerenza con i tre principi dell'UDL, che offrono un riferimento chiaro per la costruzione di esperienze di RE accessibili, inclusive e personalizzate. Di seguito (Tabella 26), si fornisce una sintesi operativa per l'integrazione dei principi e della loro applicazione nell'ambito della RE. La Tabella 26 offre, infatti, una sintesi triadica (rappresentazione, azione ed espressione, coinvolgimento) che ricapitola le scelte progettuali possibili alla luce della griglia (Tabella 24) e del repertorio di indicatori (Tabella 25).

Tabella 26. Esempi di integrazione dei principi UDL in un'attività di RE

Principio UDL	Applicazione concreta in attività di RE	Strumenti e strategie inclusive
1. **Rappresentazione.** Il "che cosa" dell'apprendimento	- Presentazione della sfida con supporti visivi (es. mappa del tesoro illustrata). - Utilizzo di istruzioni vocali, scritte e con pittogrammi. - Dimostrazione pratica con il docente che programma Blue-Bot.	- Mappa illustrata con icone semplificate. - Video dimostrativo dell'attività. - Istruzioni multilingua o semplificate. - Modelli 3D o plastici.

Principio UDL	Applicazione concreta in attività di RE	Strumenti e strategie inclusive
2. **Azione ed espressione.** Il "come" dell'apprendimento	- Gli studenti possono: a) programmare il robot direttamente; b) tracciare il percorso su carta; c) descrivere il percorso oralmente o con simboli grafici. - Possibilità di usare tastoni fisici o app touch-screen.	- Diario di bordo individuale (con immagini o parole chiave). - Comandi fisici/verbali/scritti. - Possibilità di lavorare in coppia. - Rubriche visive di autovalutazione.
3. **Coinvolgimento** Il "perché" dell'apprendimento	- Scenari narrativi motivanti (es. cercare il tesoro). - Ruoli assegnati nei gruppi di lavoro (programmatore, navigatore). - Scelte autonome tra più percorsi. - Riflessione finale collettiva sul processo.	- Ambientazione ludica (ad esempio esploratori). - Scelta tra più sfide a difficoltà crescente. - Feedback frequente e incoraggiante; - Bacheca delle soluzioni creative.

Box esempio applicativo

Titolo attività: Blue-Bot e la Mappa del tesoro

Target: scuola primaria, classe II

a) **Obiettivi** (allineati a curricolo e UDL)

Disciplinari

- Riconoscere e utilizzare coordinate su griglia quadrata 4×4 / 5×5.
- Pianificare e tradurre in comandi una sequenza di movimenti (avanza/ruota) fino al raggiungimento di una casella obiettivo.
- Comprendere il concetto di errore come informazione (*debugging* elementare).

Trasversali

- Pianificare un compito in sotto-passi (*task analysis*) e monitorarne l'esecuzione.
- Collaborare in ruoli distribuiti (programmatore, *debugger*, documentarista/narratore).
- Documentare il processo (diario di bordo/*flowchart*) e riflettere su strategie efficaci (autoregolazione).

Target osservabili: entro 2–3 cicli prova-errore, ogni gruppo produce un percorso corretto e sa descriverne la logica con parole, simboli o immagini.

b) **Modalità di lavoro**

Durata: 60 minuti (anticipazione 10'; pianificazione 15'; costruzione 15'; prova/debug 10'; restituzione 10').
Materiali e strumenti di apprendimento: Blue-Bot (1 o 2 per gruppo), tappeto a griglia, carte-comando, set pittogrammi, mappa illustrata (alta leggibilità), diario di bordo, scheda flowchart semplificata, tablet.
Gruppi: triadi eterogenee; ruoli interscambiabili (ogni fase).
Accessibilità: consegne in versione visiva, scritta e audio; glossario visuale dei comandi; etichette ad alto contrasto sui tasti on board sul dorso del robot; tabellone con registro errori e correzioni.

c) **Fasi dell'attività di RE**

Fase Preparatoria (attivazione/narrazione)

- Presentazione scenario (mappa del tesoro), lessico chiave con glossario iconico.
- Esito: attivazione motivazionale; aggancio al compito autentico.

Fase Operativa

Pianificazione (rappresentazione esterna)

- Scelta del percorso con carte-comando/*flowchart*; previsione delle rotazioni.
- Esito: sequenza corretta su carta/*flowchart*; uso del lessico.

Costruzione/Esecuzione (azione)

- Inserimento comandi su Blue-Bot; prima prova senza aiuti; annotazione errori.
- Esito: almeno un percorso completo; riconoscimento degli errori (*bug*).

Debugging guidato (espressione riflessiva)

- Revisione della sequenza; confronto tra previsione e risultato; correzione.
- Esito: riduzione errori; verbalizzazione della strategia di correzione.

Fase di Riflessione

Restituzione e metariflessione (coinvolgimento/autoregolazione)

- Breve discussione e esposizione del gruppo: spiega percorso, errori, strategie.
- Esito: indicatori di autoregolazione (cosa ha funzionato/cosa cambiare).

d) **Criteri di successo** (formulati in chiave osservabile)

Correttezza del percorso: il robot raggiunge la casella obiettivo rispettando i vincoli (es. numero massimo di rotazioni) in meno di 3 tentativi.

Trasparenza della sequenza: il gruppo produce una rappresentazione esterna coerente (flowchart/carte-comando) che corrisponde ai comandi eseguiti.

Qualità del debugging: il gruppo identifica almeno 1 bug e descrive 1 strategia di correzione.

Partecipazione in ruoli: tutti i membri svolgono almeno un ruolo in modo funzionale (*turn-taking* osservabile).

Comunicazione del processo: presentazione finale chiara, con riferimento esplicito a individuazione del bug → debugging → generalizzazione dell'apprendimento.

e) **Evidenze di apprendimento** (da raccogliere)

Prodotti: flowchart/carte-comando; video/foto del percorso corretto; diario di bordo (2–3 annotazioni); exit ticket individuale (una strategia utile, un miglioramento).

Tracce di processo: registro errori e correzioni (lavagna o bacheca); *check-list* sui ruoli compilata; rubriche rapide (da 0 a 3) per i principi di rappresentazione, azione ed espressione, coinvolgimento.

f) **Mappatura UDL dell'attività** (indicatori 1–9 della Tabella 24)

Principio UDL	Indicatore (Tab. 25)	Esemplificazione operativa dell'attività
Rappresentazione	*1. La percezione*	Consegne in triplice formato (visivo/scritto/audio); mappa ad alta leggibilità; etichette ad alto contrasto sui comandi.
	2. La lingua e i simboli	Glossario visuale dei comandi e delle rotazioni (gradi → ruote); pittogrammi su carte-comando.
	3. La costruzione della conoscenza	Organizer anticipato e modellamento docente (breve dimostrazione) con non-esempi; micro-quiz di controllo comprensione.
Azione e espressione	4. L'interazione	Scelta tra tasti on board sul dorso del Blue-Bot, app, carte-comando manipolabili; percorso ad accesso facile.
	5. L'espressione e la comunicazione	prodotti alternativi: codice via app / flowchart / descrizione orale; esposizione finale.
	6. Lo sviluppo delle strategie	*Task analysis*: pianificazione → costruzione → testing → debugging → riflessione; *time-boxing* per cicli; interscambio di ruoli.

Coinvolgimento	7. L'accogliere interessi e identità	Scenario narrativo (tesoro), scelte del percorso e dell'obiettivo da raggiungere.
	8. Il sostenere lo sforzo e la perseveranza	Livelli di sfida; carte-aiuto contingentate; feedback formativo.
	9. La capacità emotiva	Exit ticket; autovalutazione (scala 0–3) su impegno/strategia; definizione di un micro-obiettivo per la lezione successiva.

g) **Esempio mini-rubrica specifica per l'esempio (0–3)**

Criterio A – Percorso e corrispondenza rappresentazione-esecuzione: 0=assente; 1=percorso incompleto o non riproducibile; 2=percorso completo con minime discrepanze tra flowchart e comandi; 3=percorso completo e replicabile da altri gruppi sulla base della rappresentazione.

Criterio B – Debugging e spiegazione dell'errore: 0=assente; 1=errore identificato ma non spiegato; 2=errore spiegato con strategia di correzione; 3=catena [errore → ipotesi di soluzione → prova → correzione] esplicitata e generalizzata.

Criterio C – Partecipazione/ruoli e comunicazione: 0=ruolo centralizzato; 1=ruoli assegnati ma intermittenti; 2=ruoli funzionanti e pitch essenziale; 3=turn-taking equilibrato e pitch chiaro, con riferimenti espliciti a scelte/criteri di successo.

h) **Possibili adattamenti inclusivi** (esempi rapidi)

- DSA/L2: consegne semplificate con pittogrammi; font ad alta leggibilità; doppio canale (audio e testo); glossario illustrato.
- ADHD: fasi brevi con time-boxing; ruolo "navigatore" ad alto coinvolgimento motorio; carte-aiuto contingentate.
- Alunni ad alto potenziale: varianti "con vincoli" (es. minimizzare rotazioni o comandi; introduzione di ostacoli nel percorso) e sfida ottimizzazione.

i) **Possibili rischi e strategie per arginarli**

- Sovraccarico cognitivo: suddividere in micro-passi; modello esempio/non-esempio; limitare i comandi iniziali.
- Ruoli nominali: rotazione obbligatoria per fase; checklist di ruolo svolto all'interno del gruppo.
- Dipendenza dal docente: carte-aiuto (max 2 per gruppo); prima richiesta al peer tutor.

Dopo aver declinato operativamente le cornici pedagogiche dell'UDL nell'ambito della RE, nel paragrafo successivo tratteremo gli orientamenti didattici basati sulle evidenze scientifiche, mentre nell'ultimo paragrafo verrà presentato uno strumento, validato in lingua italiana (RLSES), per valutare l'autoefficacia degli studenti nell'apprendimento della RE.

6.2 Orientamenti didattici basati su evidenze

In continuità con quanto finora esposto, il presente paragrafo si propone di tradurre le cornici teoriche e i risultati degli studi di sintesi pubblicati negli ultimi anni in orientamenti pratici basati su evidenze, con particolare attenzione allo sviluppo del pensiero computazionale

attraverso la RE. La letteratura di sintesi sottolinea in modo chiaro come il pensiero computazionale rappresenti una competenza trasversale, riconosciuta oggi come prerequisito fondamentale per accedere con successo alle attività di RE (Ching & Hsu, 2024). Le metanalisi disponibili (Alonso-García *et al.*, 2024; Hong, 2024; Wang & Xie, 2024; Sun & Zhou, 2023) convergono nell'indicare che interventi con robot educativi sono associati a miglioramenti apprezzabili nell'acquisizione sistematica di tali competenze, sia attraverso pratiche laboratoriali sia tramite percorsi integrati nel curricolo disciplinare. Le *systematic review* (Ching & Hsu, 2024; Zhang *et al.*, 2021), nella medesima linea, hanno posto in evidenza il potenziale della RE nel rendere accessibili i contenuti STEM a popolazioni studentesche eterogenee. In particolare, si è osservato come l'introduzione precoce della logica computazionale, a partire dalla scuola dell'infanzia e dalla primaria, possa produrre effetti positivi e significativi nello sviluppo cognitivo e nelle pratiche di apprendimento (Hong, 2024; Wang & Xie, 2024; Sun & Zhou, 2023). Nel complesso, la RE mostra effetti positivi su conoscenze, abilità e atteggiamenti nella scuola primaria, con esiti più marcati sulle abilità (Sapounidis *et al.*, 2024). Non sorprende, in questo quadro, che diversi Paesi abbiano introdotto corsi di programmazione fin dalla scuola primaria, riconoscendo il valore della logica computazionale come competenza di base per le nuove generazioni (Sisman *et al.*, 2020; Waterman *et al.*, 2020).

Sul piano didattico, la RE si configura dunque come ambiente privilegiato per coniugare astrazione e operatività: i robot consentono di trasformare concetti altrimenti intangibili in sequenze di azioni osservabili entro cicli progettazione–codifica–verifica, favorendo processi metacognitivi e un rapporto costruttivo con l'errore (Chalmers, 2018; Chevalier *et al.*, 2020, 2022). Le evidenze quantitative confermano questo orientamento: interventi con i robot educativi hanno un effetto significativo nello sviluppo del pensiero computazionale per l'apprendimento e su competenze correlate quali programmazione, collaborazione e creatività (Alonso-García *et al.*, 2024; Ioannou & Angeli, 2016; Diagoa *et al.*, 2022).

In termini stimativi, l'apprendimento supportato dai robot mostra un effetto medio sul pensiero computazionale ($g=0{,}643$) e, guardando alle sottodimensioni, grande sui concetti ($g=0{,}650$) e sulle pratiche ($g=0{,}587$), molto grande sulle prospettive ($g=1{,}419$) (Wang & Xie, 2024). In contesti scolastici naturali, l'effetto complessivo risulta positivo ($g\approx0{,}57$; Wang *et al.*, 2023). Meta-analisi multilivello in ambienti STEM attestano inoltre effetti moderati su p*erformance* ($g\approx0{,}67$) e atteggiamenti ($g\approx0{,}50$), mentre l'effetto sul pensiero computazionale – se trattato come indice unitario – risulta piccolo e non significativo ($g\approx0{,}08$), suggerendo la necessità di monitorare separatamente concetti, pratiche e prospettive (Ouyang & Xu, 2024).

Il quadro, tuttavia, non è monolitico: accanto a risultati positivi, sono documentati esiti modesti o nulli (Bers *et al.*, 2014; Santos & Castro, 2019), e non sussiste ancora un consenso pienamente condiviso sull'efficacia della RE nel potenziare il pensiero computazionale degli studenti K-12 (Berland & Wilensky, 2015; Ioannou & Makridou, 2018).

Le sintesi della letteratura aiutano a leggere tale eterogeneità indicando alcune variabili contestuali in qualità di moderatori decisivi: l'età degli studenti e il grado scolastico; le strategie didattiche adottate, la durata degli interventi, la qualità della progettazione e della regia dell'insegnante; la durata e la struttura degli interventi; la coerenza tra gli obiettivi, i compiti proposti e la valutazione (Atmatzidou & Demetriadis, 2014; Ouyang & Xu, 2024; Wang *et al.*, 2023).

In altri termini, non basta introdurre un robot in aula: servono scelte didattiche informate. Due indicazioni emergono con chiarezza: *in primis* trattare il pensiero computazionale come un costrutto composito: progettare e valutare per concetti, per pratiche e per prospettive consente di cogliere progressi che un indice globale tende ad appiattire (Ouyang & Xu, 2024; Wang & Xie, 2024); *in secundis*, calibrare gli strumenti di apprendimento e i compiti sull'età di sviluppo degli studenti: per la scuola dell'infanzia e il primo ciclo funzionano meglio attività tangibili e strutturate (*robotica educativa - unplugged*), mentre approcci meno strutturati come il *coding* virtuale (ad esempio *Scratch*) sono più adatti agli alunni più grandi o con maggiore esperienza. Didatticamente, è inoltre preferibile sequenziare e/o integrare i due ambienti, fisico e virtuale, in funzione degli esiti attesi: utilizzando il virtuale per introdurre concetti e prospettive di sistema, e poi il robot fisico al fine di consolidare le pratiche di *debugging* e la robustezza ai vincoli del mondo reale; allineando valutazioni mirate ai sotto costrutti del pensiero computazionale (concetti, pratiche e prospettive) (Berland & Wilensky, 2015). Il collegamento con le FE rafforza ulteriormente questa direzione: interventi orientati allo sviluppo del pensiero computazionale producono effetti marcati su *problem solving* (d=0,89) e pianificazione, e più contenuti su controllo inibitorio e memoria di lavoro nella fascia 4–16 anni (Montuori *et al.*, 2024). Ciò suggerisce che unità di RE ben progettate possano generare ricadute cognitive trasferibili oltre la sola abilità di programmazione, in linea con gli esiti motivazionali (curiosità, interesse, autoefficacia) e socio-relazionali (collaborazione, partecipazione) riscontrati in più lavori (Bai & Tian, 2025; Sun & Zhou, 2023; Hong, 2024; Ouyang & Xu, 2024; Sapounidis *et al.*, 2024).

Per rispondere all'esigenza di sistematizzazione, diventa essenziale tradurre i risultati della ricerca in indicazioni operative per la didattica. Appare dunque fondamentale orientare la progettazione didattica della RE su linee guida coerenti con le risultanze delle metanalisi che offrono indicazioni convergenti sulle abilità sviluppate dalla RE, sulle modalità di progettazione delle attività e sugli strumenti da utilizzare per attuarla e anche per valutarla (Wang & Xie, 2024; Sun & Zhou, 2023; Sapounidis *et al.*, 2024; Bai & Tian, 2025). In questo senso, la RE non rappresenta soltanto uno strumento per insegnare a "programmare", ma piuttosto un'opportunità per "imparare attraverso la programmazione", sostenendo percorsi educativi inclusivi, innovativi e orientati allo sviluppo delle competenze digitali per la cittadinanza. A tale scopo, il modello ERIM (Negrini *et al.*, 2025a) offre una cornice di riferimento teorica e pratica. Pur articolandosi originariamente in cinque dimensioni – obiettivi di apprendimento, metodi didattici, strumenti di valutazione, artefatti di apprendimento, formazione e comunità degli insegnanti – in questo paragrafo l'analisi si focalizzerà sulle tre direttrici fondamentali per la strutturazione di attività efficaci e sostenibili: obiettivi di apprendimento, metodi didattici e artefatti di apprendimento. La formazione degli insegnanti e le sue implicazioni sono state, infatti, già approfondite nel capitolo precedente, mentre la dimensione relativa agli strumenti di valutazione sarà discussa nel paragrafo successivo, in connessione con la validazione in lingua italiana del questionario RLSES (Agus *et al.*, 2025).

Obiettivi di apprendimento. La RE si configura, come abbiamo visto, un contesto didattico privilegiato per lo sviluppo del pensiero computazionale. Ne consegue che, nella definizione degli obiettivi di apprendimento, è necessario includere anche quelli specifici della programmazione. Secondo Sun e Zhou (2023), la RE favorisce lo sviluppo sia di competenze essenziali,

legate all'acquisizione dei concetti base della programmazione (sequenze, cicli, condizionali, parallelismo) e all'uso funzionale dei robot, sia di competenze generative, quali l'astrazione, la formulazione e scomposizione di problemi, la generalizzazione di soluzioni, il pensiero algoritmico e creativo, la cooperazione e il *problem solving*. Le metanalisi più recenti confermano la solidità di tali risultati. Nell'introduzione al paragrafo abbiamo approfondito l'impatto della RE sui sotto costrutti del pensiero computazionale (Wang & Xie, 2024) a dimostrazione che la pratica non si limita a potenziare conoscenze e abilità, ma contribuisce anche a plasmare il modo in cui gli studenti immaginano il proprio futuro e si rapportano al mondo digitale. In parallelo, analisi che aggregano il pensiero computazionale come indice globale tendono a rilevare impatti non significativi (Ouyang & Xu, 2024), ribadendo l'esigenza di definire obiettivi e misure mirate per concetti, pratiche e prospettive. Nella scuola primaria, gli esiti risultano positivi su conoscenze, abilità e atteggiamenti: le abilità sono la dimensione più sensibile (Sapounidis *et al.*, 2024). Inoltre, l'impatto della RE varia in relazione al grado scolastico: negli alunni dalla scuola dell'infanzia ai primi anni della primaria risultano particolarmente significativi l'apprendimento delle sequenze e il *debugging*, inizialmente basato sul tentativo ed errore; dalla terza primaria fino alla scuola secondaria di primo grado emergono invece progressi nella comprensione delle strutture condizionali e dei cicli, che consentono di affrontare compiti più complessi e astratti. Lo sviluppo del pensiero algoritmico si conferma invece trasversale lungo l'intero percorso scolastico (Ching & Hsu, 2024). Questa progressione evidenzia come la RE rappresenti un efficace strumento di *scaffolding* cognitivo, capace di accompagnare gradualmente gli studenti nello sviluppo delle competenze computazionali. Una recente metanalisi documenta che interventi orientati al pensiero computazionale hanno effetti positivi anche su componenti specifiche delle FE: *problem solving*, pianificazione, controllo inibitorio e memoria di lavoro (Montuori *et al.*, 2024). Tali risultati rafforzano l'idea che le attività di RE, quando progettate per esercitare concetti e pratiche proprie del pensiero computazionale, producano ricadute cognitive trasferibili oltre la mera abilità di programmazione (Montuori *et al.*, 2024). Oltre alle competenze tecniche, la RE incide positivamente anche su dimensioni motivazionali, stimolando curiosità, interesse e senso di autoefficacia (Ioannou & Makridou, 2018), che a loro volta sostengono atteggiamenti positivi verso le discipline STEM. Sul versante delle *soft skills*, in buona sostanza, le metanalisi confluiscono nel mostrare che la RE sostiene in modo sistematico dimensioni affettivo-motivazionali e socio-relazionali: motivazione, interesse, atteggiamenti verso l'apprendimento STEM, autoefficacia, impegno nell'indagine, responsabilità, collaborazione, partecipazione e cooperazione lungo i cicli progettazione–test–verifica (Bai & Tian, 2025; Sun & Zhou, 2023). Non restano esclusi impatti sul clima socio-relazionale (Hong, 2024; Ouyang & Xu, 2024). Nella progettazione di tali attività è indispensabile, dunque, considerare le molteplici competenze coinvolte e selezionare le architetture didattiche più funzionali alle finalità educative individuate.

Metodi didattici. La seconda dimensione dell'ERIM sottolinea l'importanza delle strategie didattiche adottate per l'implementazione della RE. La letteratura concorda nel rilevare che l'efficacia degli interventi dipende in larga parte dalla qualità delle metodologie impiegate (Ching & Hsu, 2024). In particolare, gli approcci collaborativi – come il *collaborative learning*, il *cooperative learning* e il *peer tutoring*, anche attraverso l'attribuzione di ruoli specifici – si rivelano

particolarmente efficaci nel promuovere l'interazione, la responsabilità condivisa e la riflessione metacognitiva, con un impatto significativamente positivo sullo sviluppo del pensiero computazionale. In altre parole, le condizioni didattiche modulano gli esiti: assetti cooperativi con ruoli espliciti favoriscono abilità generative, mentre *setting* più individuali supportano le abilità essenziali (Sun & Zhou, 2023). I risultati meta-analitici indicano che la strategia didattica, il tipo di interazione (lavoro in gruppo vs individuale), la durata dell'intervento e il supporto docente operano come fattori facilitanti dell'efficacia; tra i moderatori, troviamo anche la disciplina che risulta associata significativamente alla varianza degli esiti (Ouyang & Xu, 2024). In linea di massima, l'effetto medio complessivo si conferma positivo quando le attività sono condotte in contesti scolastici e l'insegnante svolge un ruolo di regia (Wang *et al.*, 2023), anche in popolazioni con disturbo dello spettro autistico (Wang *et al.*, 2025) l'effetto complessivo degli interventi robotici è ampio (d=0,829), con differenze sistematiche legate alla regia didattica. Gli esiti più elevati si sono osservati quando i robot assistevano gli insegnanti o quando i docenti avevano il loro controllo sia rispetto al loro uso nella modalità "assistita" che ad una loro fruizione maggiormente autonoma (Wang *et al.*, 2025). Inoltre, gli effetti risultano più marcati nel dominio matematico (d=0,535) e nelle misurazioni immediate (d=0,782), suggerendo la necessità di progettare compiti ben strutturati e di presidiare il *timing* della valutazione (Wang *et al.*, 2025). Queste evidenze confermano, in linea generale, che l'efficacia della RE dipende non solo dallo strumento utilizzato, ma dalla qualità della mediazione docente e dalla congruenza tra obiettivi, compito richiesto e valutazione. Interventi brevi e intensivi mostrano spesso una maggiore efficacia rispetto a percorsi troppo lunghi, a parità di qualità progettuale (Sun & Zhou, 2023). L'efficacia varia per grado scolastico, risultando generalmente maggiore nei gradi iniziali (Sun & Zhou, 2023). In contesti STEM vengono indicati diversi aspetti che fungono da moderatori: la strategia didattica, il supporto del docente, il tipo d'interazione, la durata (Bai & Tian, 2025). Ulteriore elemento di efficacia è rappresentato dalle metodologie attive, che integrano la RE in percorsi di *project-based learning*, *design-based learning*, *inquiry-based learning*, *play-based learning* e *problem-based learning*. Mentre il *project-based learning* sembrerebbe privilegiare la costruzione collaborativa di prodotti, il *play-based learning* stimolerebbe soprattutto la motivazione e l'apprendimento esplorativo nei più piccoli. Tuttavia, questi approcci sostengono il coinvolgimento attivo degli studenti, stimolano la loro curiosità e promuovono processi di pensiero critico e creativo, rendendo al contempo più accessibili le discipline STEM anche a studenti con *background* e profili diversi (Hong, 2024; Wang & Xie, 2024). In tale prospettiva, la RE si configura come uno strumento trasversale e interdisciplinare, capace di connettere discipline differenti: matematica, scienze, tecnologia e persino linguaggi narrativi e artistici (Ching & Hsu, 2024).

Per la scuola dell'infanzia, le evidenze segnalano l'efficacia di approcci specifici che consentono di rendere accessibili concetti complessi del pensiero computazionale attraverso modalità esperienziali. Tra questi, l'approccio *embodied* permette agli studenti di interiorizzare e dimostrare concetti astratti attraverso il corpo e l'interazione fisica con i robot (Ching & Hsu, 2024), mentre l'apprendimento per scoperta, ad esempio tramite l'utilizzo di un robot con comportamenti preimpostati come *Thymio II*, valorizza la naturale curiosità dei bambini e incoraggia un *problem solving* intuitivo e creativo.

Un aspetto ulteriore riguarda la progettazione delle attività di RE, che dovrebbe valorizzare il potenziale collaborativo e interdisciplinare delle esperienze. Gli studi dimostrano che i percorsi di RE condotti in modalità collaborativa producono effetti più significativi nello sviluppo del pensiero computazionale rispetto ad approcci individuali (Hong, 2024). In questa direzione, l'integrazione di attività di *storytelling* supportato dai robot, di giochi robotici e di compiti interdisciplinari consente di ampliare gli ambiti di applicazione del pensiero computazionale e di stimolare la creatività degli studenti.
In ultima istanza, la durata degli interventi rappresenta un fattore decisivo per l'efficacia della RE. Alcune ricerche mostrano che esperienze di breve durata (meno di un mese) possono avere un impatto più marcato sullo sviluppo del pensiero computazionale rispetto a interventi prolungati, i quali rischiano di ridurre la motivazione e l'interesse, soprattutto se non adeguatamente strutturati (Zhang *et al.*, 2021; Hong, 2024; Wang & Xie, 2024). Tali risultati, sull'effetto rispetto alla durata dell'intervento, confermano le conclusioni dello studio di Chauhan (2017) incentrato sull'impatto generale della tecnologia sull'efficacia dell'apprendimento degli studenti della scuola primaria. Sun e Zhou (2023) evidenziano inoltre che, al crescere della durata, l'impatto tende a diminuire, pur rimanendo positivo entro un intervallo di 4–11 settimane (Hong, 2024). Interventi più lunghi hanno un effetto maggiore nell'atteggiamento degli studenti verso l'apprendimento (Bai e Tian, 2025). Ne deriva che la definizione della durata ottimale delle attività non possa essere stabilita a priori, ma debba essere calibrata rispetto agli obiettivi formativi e ai contenuti curricolari, ricercando un equilibrio tra intensità e continuità.

Strumenti di apprendimento. Gli artefatti di apprendimento, terza dimensione dell'ERIM, comprendono i linguaggi di programmazione e i robot educativi, la cui scelta non è neutra, ma condiziona la motivazione, la partecipazione e l'efficacia delle attività. Sul piano dei linguaggi di programmazione, gli studi dimostrano che il *Visual Programming Language* (VPL) rappresenta la soluzione più inclusiva e accessibile, in particolare per studenti alle prime armi e per le studentesse, che tendono ad apprezzarlo di più (Negrini *et al.*, 2024). Il VPL favorisce, infatti, un approccio intuitivo e visivamente chiaro, capace di ampliare la partecipazione e promuovere l'equità di genere nell'apprendimento del pensiero computazionale. Al contrario, linguaggi come *Scratch* e *Blockly* risultano più adatti a studenti con una maggiore familiarità con la programmazione, poiché offrono sfide concettuali più articolate. Ne consegue che la scelta del linguaggio debba tenere conto non solo dell'età, ma anche dell'esperienza pregressa e degli obiettivi formativi, regolando progressivamente la difficoltà per favorire percorsi di apprendimento personalizzati.
Le meta-analisi non evidenziano una superiorità generalizzabile di una tipologia di robot sull'altra: la scelta dello strumento va tarata su diversi criteri inclusi gli obiettivi di apprendimento, la tipologia di compiti e le discipline interessate (Ouyang & Xu, 2024; Wang *et al.*, 2023). Per quanto riguarda specificatamente i robot educativi, la ricerca sottolinea la necessità di una selezione graduale e mirata. Nelle fasi iniziali della scolarità, dalla scuola dell'infanzia fino alla seconda primaria, risultano più efficaci kit semplici e manipolativi, spesso privi di schermo, che utilizzano modalità di programmazione tangibili – come la pressione di pulsanti o la disposizione di blocchi fisici – per collegare in modo immediato l'azione alla rappresentazione simbolica (Bers *et al.*, 2014). A partire dalla terza primaria, invece, diventa opportuno

introdurre robot con funzionalità più avanzate e ambienti di programmazione a blocchi digitali, che consentono di affrontare sfide più complesse e di sviluppare competenze computazionali sempre più articolate (Ching & Hsu, 2024). La scelta del robot, pertanto, deve essere attentamente valutata in funzione all'età evolutiva, alle esperienze pregresse, alle competenze acquisite e agli obiettivi educativi, così da accompagnare lo sviluppo cognitivo degli studenti con strumenti progressivamente più sofisticati e adeguati. Questa progressione, dai robot manipolativi della scuola dell'infanzia fino ai più complessi della secondaria, assicura un allineamento tra lo sviluppo cognitivo degli studenti e la complessità degli strumenti proposti. Nella scuola primaria prevalgono implementazioni con kit mobili e/o modulari e interfacce grafiche o tangibili, con esiti medi complessivamente positivi (Sapounidis *et al.*, 2024). Nella prospettiva STEM, la tipologia di robot utilizzata figura fra i moderatori da considerare quando si esamina l'impatto di un intervento (Bai & Tian, 2025; Ouyang & Xu, 2024). Nei percorsi inclusivi, i dati suggeriscono di privilegiare configurazioni del robot come strumento di mediazione gestito dal docente che detiene il ruolo di facilitatore didattico (Wang *et al.*, 2025).

L'articolazione delle tre dimensioni dell'ERIM con le evidenze scientifiche disponibili mostra come il modello offra una cornice teorica e operativa solida per l'integrazione della RE. Gli obiettivi di apprendimento chiariscono quali competenze si intendano sviluppare negli studenti – dalle abilità tecniche di base alle competenze generative e motivazionali – mentre i metodi didattici evidenziano l'importanza di approcci attivi e collaborativi, capaci di rendere l'apprendimento più inclusivo e partecipato. Gli artefatti di apprendimento, infine, sottolineano il ruolo strategico della selezione di linguaggi di programmazione e robot, che devono essere calibrati in funzione dell'età, delle esperienze pregresse e degli obiettivi formativi. In questa prospettiva, l'ERIM non si configura come uno strumento operativo per orientare le scelte didattiche e le pratiche dei docenti. In coerenza con questa cornice, il Box "Implicazioni operative per progettare e implementare la RE" traduce le evidenze in indicazioni pratiche sugli obiettivi, sui metodi e sugli artefatti, offrendo criteri di progettazione e di valutazione direttamente spendibili in contesto scolastico.

Box - Implicazioni operative per progettare e implementare la RE

Alla luce di evidenze convergenti, si propongono le seguenti indicazioni operative:

(i) Allineare obiettivi e valutazione ai sotto costrutti del pensiero computazionale (concetti, pratiche, prospettive), evitando indici globali poco sensibili e adottando rubriche che rendano osservabili debugging, iterazione e riflessione sul processo (Wang & Xie, 2024; Ouyang & Xu, 2024).

(ii) Privilegiare assetti cooperativi con ruoli espliciti (es. programmatore, tester, documentarista), peer tutoring e cicli progettazione–test–debug con la mediazione del docente e feedback frequenti: regia dell'insegnante e qualità del setting sono moderatori sistematici degli esiti (Wang *et al.*, 2023; Sun & Zhou, 2023; Bai & Tian, 2025).

(iii) Calibrare la durata: interventi brevi e intensivi tendono a massimizzare gli apprendimenti, percorsi più lunghi richiedono forte strutturazione; la finestra 4–11 settimane risulta comunque favorevole (Hong, 2024; Sun & Zhou, 2023; Wang & Xie, 2024; Zhang *et al.*, 2021).

(iv) Variare le strategie attive in base agli esiti attesi: *project-/design-/problem-based* per prodotti complessi e *problem solving*; *play-based* e storytelling per motivazione e pratiche iniziali; *inquiry* guidata per trasferimento disciplinare, con effetti più marcati nei gradi di scuola iniziali (Hong, 2024; Wang & Xie, 2024; Bai & Tian, 2025).

(v) Selezionare artefatti per progressione: nei primi anni interfacce tangibili e VPL accessibili; poi ambienti a blocchi più articolati e robot con sensori e attuatori più sofisticati. Non emerge una superiorità "assoluta" di una tipologia di robot: conta la congruenza didattica tra vari aspetti: età, compito, disciplina e valutazione (Bers *et al.*, 2014; Ching & Hsu, 2024; Ouyang & Xu, 2024; Wang *et al.*, 2023).

(vi) Curare l'ancoraggio disciplinare: il dominio (es. matematica vs scienze) modera gli esiti; esplicitare legami curricolari e progettare compiti autentici che intreccino concetti propri del pensiero computazionale e contenuti disciplinari (Ouyang & Xu, 2024; Bai & Tian, 2025).

(vii) Mirare a esiti differenziati per età: nei primi gradi *scaffolding* su sequenze e debugging per tentativi; dalla terza primaria enfasi su condizionali e cicli, con progressione verso strategie di generalizzazione (Ching & Hsu, 2024).

(viii) Valorizzare motivazione, autoefficacia, collaborazione insieme alle abilità tecniche e ai concetti: nella scuola primaria l'effetto è complessivamente positivo ma più sensibile sul versante operativo (Sapounidis *et al.*, 2024; Xie *et al.*, 2024).

(ix) Se gli esiti includono lo sviluppo delle funzioni esecutive, focalizzare la progettazione su problem solving e pianificazione (effetti rispettivamente ampi e moderati) e predisporre compiti e/o misure di transfer a breve e lungo termine; esiti più contenuti su controllo inibitorio e memoria di lavoro, non significativi su flessibilità cognitiva: impostare progressioni di compito (guidato → semi-guidato → aperto) in base all'età (Montuori *et al.*, 2024).

(x) Contesti inclusivi (es. ASD): privilegiare configurazioni in cui la regia rimane al docente con il robot come assistente didattico, evitando interazioni autonome non mediate; l'efficacia complessiva è ampia e cresce con il coinvolgimento attivo del docente e con una mediazione strutturata (istruzioni graduate, supporti espliciti, feedback contingente), ruoli chiari e tempi di sessione calibrati (Wang *et al.*, 2025).

Nel loro insieme, tali indicazioni sostengono una RE intenzionale e sostenibile: obiettivi specifici e misure coerenti, didattica cooperativa con la guida docente, durata ottimizzata, artefatti graduati e forte integrazione curricolare: una traiettoria progettuale che massimizza l'impatto sugli apprendimenti e rende l'innovazione sostenibile nel tempo.

Tuttavia, per comprendere in che misura e in quale direzione tali pratiche incidano effettivamente sull'apprendimento degli studenti – al di là degli obiettivi di apprendimento, delle metodologie adottate e degli artefatti impiegati – è necessario disporre di strumenti psicometrici specifici, capaci di misurare dimensioni rilevanti come l'autoefficacia nell'apprendimento della robotica. Nel paragrafo successivo verrà presentato un questionario validato e concepito proprio per rilevare tali dimensioni. I metodi e gli artefatti modulano gli esiti e la misurazione incide sulla sensibilità ai cambiamenti, motivi per cui nel prossimo paragrafo presentiamo uno strumento psicometrico mirato all'autoefficacia nella RE, utile a monitorare percorsi e a calibrare l'intensità degli interventi.

6.3 *Robotics Learning Self-Efficacy Scale (RLSES)*

La terza dimensione dell'ERIM – strumenti di valutazione – riguarda il modo in cui gli esiti e i processi dell'apprendimento "con" e "attraverso" la robotica vengono misurati in modo valido, affidabile e sensibile al cambiamento. In continuità con gli orientamenti didattici del paragrafo precedente, si focalizza qui l'attenzione su un indicatore chiave: l'autoefficacia degli studenti, costrutto prossimale e al contempo mediatore degli apprendimenti, cruciale nei contesti iterativi di progettazione – *test – debug* tipici della RE. Alla luce della necessità di strumenti specifici e comparabili per monitorare percorsi e valutare impatti, presentiamo il *Robotics Learning Self-Efficacy Scale* (RLSES), una scala psicometricamente fondata per rilevare la fiducia degli studenti nelle proprie capacità operative e cognitive in attività di RE. Verranno illustrati gli scopi e i campi di applicazione dello strumento, descrivendone la struttura, le proprietà psicometriche e dati normativi. Nell'ultima parte si discuteranno i limiti, le prospettive future le modalità d'uso dello strumento. L'obiettivo è fornire a docenti e ricercatori un dispositivo valutativo coerente con la cornice ERIM, utile sia per la valutazione formativa (regolazione in itinere) sia per la valutazione di impatto (pre–post, *follow-up*), e capace di informare decisioni didattiche basate su evidenze.

La letteratura recente (Marcianò, 2017; Babazadeh & Negrini, 2022) segnala la scarsità di strumenti affidabili e validi, realmente sensibili alla varietà dei contesti, agli obiettivi di apprendimento e ai profili degli studenti. L'uso di prove curricolari generiche o di osservazioni estemporanee risulta infatti insufficiente a cogliere le dimensioni procedurali e affettivo-motivazionali tipiche della RE. Tra le dimensioni più rilevanti figura l'autoefficacia percepita (Bandura, 1997), ossia la convinzione di possedere le competenze necessarie per affrontare e portare a termine con successo compiti cognitivamente e tecnicamente sfidanti. Evidenze consolidate la collegano all'impegno, alla persistenza e all'autoregolazione emotiva (Bandura & Schunk, 1981; Zimmerman, 2000). In contesti di apprendimento attivo, come quelli tipici della RE, l'autoefficacia si configura non solo come un predittore dell'apprendimento, ma anche come un mediatore tra l'esperienza concreta e il senso di competenza costruito dagli studenti. Ne discende l'esigenza di misure specifiche di dominio in grado di informare decisioni didattiche tempestive. Numerose ricerche hanno confermato l'efficacia della RE nel promuovere l'autoefficacia, in particolare rispetto alla programmazione, alla risoluzione di problemi e all'applicazione delle conoscenze apprese (Güleryüz, 2022; Theodoropoulos *et al*., 2018; Yıldız & Sadi Seferoğlu, 2021). Tali studi evidenziano che, in seguito alla partecipazione ad attività laboratoriali di RE, gli studenti riportano una maggiore sicurezza nelle proprie capacità e un interesse più marcato verso le discipline informatiche e STEM. Questo effetto si basa su una dinamica nota nella psicologia dell'apprendimento: le esperienze di successo, anche parziale, rafforzano la convinzione di essere in grado di affrontare con successo attività analoghe in futuro, innescando un circolo virtuoso tra percezione di competenza e motivazione (Ahn *et al*., 2016; Ford *et al*., 2023). Tuttavia, come osservano Ford e colleghi (2023), restano relativamente inesplorate le fonti dell'autoefficacia nel contesto della robotica. È dunque essenziale approfondire quali elementi dell'esperienza educativa – il *feedback* dell'insegnante, la collaborazione tra pari, il successo nella programmazione, l'utilizzo del robot come artefatto epistemico – contribuiscano in modo significativo alla sua costruzione. In particolare, la RE

rappresenta un contesto privilegiato per esplorare le dinamiche tra autoefficacia specifica (relativa a compiti o situazioni ben definite, come costruire o programmare un robot) e autoefficacia generale (relativa alla percezione globale delle proprie capacità di apprendere). A tale proposito, alcuni studi hanno messo in evidenza come l'autoefficacia specifica, in particolare nell'ambito della programmazione, abbia un potere predittivo più elevato sulle prestazioni in compiti STEM rispetto all'autoefficacia generale (Yanış & Yürük, 2020; Bandura, 1997). La capacità degli studenti di attribuire il proprio successo alla competenza (e non al caso o all'aiuto esterno) appare cruciale per promuovere apprendimenti duraturi e trasferibili. Inoltre, il riconoscimento dell'errore come risorsa – tipico dei laboratori di RE – può rafforzare l'autoefficacia riflessiva, cioè la capacità di valutare e autoregolare le proprie strategie in modo adattivo (Sullivan & Bers, 2019). In sintesi, si conferma la necessità di disporre di strumenti rigorosi per misurare l'autoefficacia degli studenti nell'apprendimento della RE, al fine di monitorare l'impatto degli interventi, progettare azioni mirate e sostenere un approccio *evidence-based*.

In questo scenario si colloca la scala RLSES, uno strumento psicometrico operativo, recentemente validato in lingua italiana (Agus *et al.*, 2025), rivolto a ricercatori e docenti al fine di rilevare i livelli di autoefficacia specifica in percorsi di RE. La RLSES consente una lettura multidimensionale (cognitiva, pratica, collaborativa, metacognitiva) utile sia per la valutazione sia per orientare le scelte didattiche e gli interventi personalizzati lungo il ciclo progettazione-test-revisione. L'originalità della scala risiede nella sua capacità di misurare non solo le abilità operative, legate alla costruzione e programmazione del robot, ma anche le dimensioni cognitive, collaborative e metacognitive che caratterizzano le esperienze laboratoriali. In questo senso, lo strumento offre un modello valutativo coerente con una concezione dell'apprendimento inteso come processo complesso, situato e dinamico, in cui la percezione di sé gioca un ruolo centrale nel determinare l'impegno e la riuscita degli studenti. Inoltre, la disponibilità di una scala applicabile a differenti ordini di scuola, dalla primaria alla secondaria di II grado, consente di superare la frammentazione delle pratiche valutative e di promuovere una cultura della valutazione formativa orientata al processo e al potenziamento delle risorse individuali. L'autoefficacia, in questa prospettiva, non è solo un indicatore dell'apprendimento passato, ma anche un predittore della disponibilità ad apprendere in futuro, e dunque un elemento chiave da sostenere e monitorare nel tempo.

6.3.1 Struttura della scala RLSES

L'introduzione della RLSES nei contesti scolastici risponde, dunque, a una doppia esigenza: da un lato, quella di dotare i docenti di uno strumento pratico, attendibile e facilmente implementabile nelle attività didattiche; dall'altro, quella di favorire la diffusione di pratiche valutative coerenti con i principi dell'educazione contemporanea, fondata su evidenze, personalizzazione e cura del processo formativo.

La versione italiana del questionario è composta da 16 item (Tabella 27) valutati su una scala Likert a 5 punti (1 = per niente capace; 5 = molto capace). Le analisi fattoriali (Agus *et al.*, 2025) hanno evidenziato una struttura a due fattori. Il primo, di natura cognitivo-affettiva, comprende dodici item relativi a processi di comprensione, applicazione, analisi e collaborazione, come ad esempio la capacità di proporre idee sull'uso dei robot per la risoluzione di problemi.

Il secondo fattore, di tipo pratico, raccoglie quattro item focalizzati sulla gestione operativa del robot, che spaziano dalla costruzione al *troubleshooting*, come nel caso dell'affermazione "sono in grado di assemblare un robot passo dopo passo". Dal punto di vista della consistenza interna, i risultati hanno evidenziato valori soddisfacenti di affidabilità: l'*alpha* di *Cronbach* è pari a .910 per il primo fattore e a .812 per il secondo, a conferma della solidità psicometrica dello strumento.

La struttura del questionario è semplice, la chiarezza degli item e la flessibilità del formato lo rendono adatto a un'ampia gamma di contesti didattici.

Tabella 27. Items del questionario RLSES

	Items RLSES	Fattore
1.	So assemblare un robot passo dopo passo.	F2
2.	So usare gli strumenti per costruire un robot.	F2
3.	So costruire un circuito per un robot.	F2
4.	So realizzare un robot.	F2
5.	So proporre idee sull'uso dei robot per risolvere i problemi.	F1
6.	Posso applicare le conoscenze di robotica nella mia vita quotidiana.	F1
7.	So utilizzare un robot per risolvere un problema.	F1
8.	Riesco a discutere facilmente con i compagni su come realizzare i robot.	F1
9.	Posso presentare le mie idee in modo chiaro in un'aula di robotica.	F1
10.	Posso esprimere liberamente le mie opinioni in un'aula di robotica.	F1
11.	Mi sono chiari i concetti di apprendimento della robotica.	F1
12.	Sono in grado di rispondere alle domande degli insegnanti in un'aula di robotica.	F1
13.	Sono in grado di collegare i concetti della robotica con altri argomenti di apprendimento.	F1
14.	Sono in grado di valutare diverse soluzioni robotiche per risolvere un problema.	F1
15.	Posso dimostrare un'idea realizzando un robot.	F1
16.	Sono in grado di pensare a un problema di robotica da diversi punti di vista.	F1

La RLSES nasce con una chiara vocazione educativa e formativa: perché abbiamo bisogno di uno strumento specifico per misurare l'autoefficacia nella RE?
La risposta risiede nella natura stessa della RE. La robotica non è una materia tradizionale; essa integra dimensioni cognitive, pratiche ed emotive. Sfida gli studenti non solo a comprendere principi astratti, ma anche a costruire, testare, fallire e collaborare. In ambienti di apprendimento così complessi e ibridi, la percezione delle proprie capacità – ciò che abbiamo definito autoefficacia – riveste un ruolo fondamentale. Il RLSES è stato originariamente progettato per catturare aspetti specifici: quanto gli studenti si sentono sicuri nel programmare, applicare, analizzare e collaborare durante le attività di robotica (Tsai *et al*., 2021). L'utilizzo di una scala di autoefficacia generale non riuscirebbe a riflettere le sfumature dell'apprendimento nella RE, applicare il RLSES come strumento invece consente a insegnanti e ricercatori di:

- monitorare l'evoluzione dell'autoefficacia percepita da parte degli studenti, prima e dopo un intervento didattico di RE;
- adattare la progettazione didattica in base ai profili e alle percezioni degli studenti,
- valutare l'impatto di percorsi robotici scolastici o extracurricolari;

- creare un ponte tra ricerca e pratica, offrendo uno strumento pratico ma con solidità teorica.

6.3.2 Caratteristiche e dati normativi

Lo strumento è stato validato su un campione di oltre trecento studenti italiani (di cui 185 maschi, pari al 51,4%), provenienti da 34 scuole pubbliche distribuite sul territorio nazionale. L'impiego della versione italiana dello strumento (Agus *et al.*, 2025) ha reso possibile la raccolta dei dati che costituiscono la base delle analisi presentate nel presente paragrafo.
I partecipanti allo studio sono 345 studenti italiani, con un'età media di 12,65 anni (ds=2.4), di cui il 51,2% di genere maschile, provenienti da 34 scuole pubbliche distribuite nelle diverse aree geografiche d'Italia (nord, centro e sud). Gli studenti appartenevano a tutti gli ordini scolastici: il 29% frequentava l'ultimo biennio della scuola primaria (N=105), il 43.9% la scuola secondaria di primo grado (N=155) e il 26.4% la scuola secondaria di secondo grado (N=93). Per quanto riguarda la figura dell'insegnante di RE, nel 65.7% dei casi si trattava del docente titolare della classe; nel 22.9% dei casi l'attività era condotta da un insegnante proveniente da un'altra classe, mentre nel 4% da un docente di un'altra scuola. Una percentuale ridotta di studenti (5%) ha indicato la presenza di un esperto esterno di RE, mentre il 2.3% ha dichiarato di non sapere chi fosse l'insegnante responsabile. Infine, la media delle ore trascorse nei laboratori di RE risultava pari a 25 ore.
Oltre al questionario RLSES sono state rilevate le percezioni degli studenti riguardo alle attività di RE attraverso specifiche domande di autovalutazione, formulate su una scala Likert a 5 punti. I risultati hanno evidenziato una valutazione complessivamente positiva: l'utilità percepita delle attività ha ottenuto un punteggio medio pari a 4 (ds=1), mentre il grado di divertimento associato alla partecipazione ha raggiunto una media di 4.5 (ds=0.7). Infine, anche la proattività degli studenti nel prendere parte a ulteriori laboratori di RE ha mostrato valori elevati, con una media di 4,3 (ds=0.8).
La seguente Tabella (28) riassume le statistiche descrittive relative ai due fattori della RLSES – F1, legato all'autoefficacia cognitivo/affettiva, e F2, riferito all'autoefficacia pratica – in tre diversi livelli scolastici: scuola primaria, secondaria di primo grado e secondaria di secondo grado.

Tabella 28. Statistiche descrittive relative ai due fattori (F1 e F2) della RLSES nei tre diversi ordini di scuola

Grado scolastico		RLSES_F1	RLSES_F2
Scuola primaria	Media	2.69	3.35
	N	102	102
	ds	.821415	.602250
	Min	1	1
	Max	4.250	4.500
Scuola secondaria di I grado	Media	3.09	3.29
	N	155	155
	ds	.865738	.661798
	Min	1	1.167
	Max	5	4.833

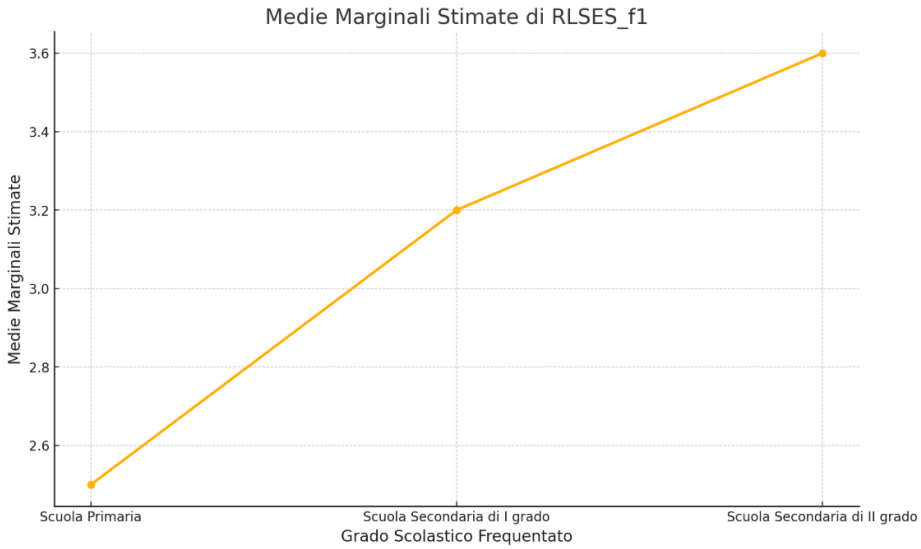
Grado scolastico		RLSES_F1	RLSES_F2
Scuola secondaria di II grado	Media	3.61	3.78
	N	88	88
	ds	.899280	.780102
	Min	1	2
	Max	5	5

Come si può osservare, gli studenti della scuola primaria hanno riportato una media di 2,69 per F1 e di 3,35 per F2. Ciò indica che, sebbene la loro autoefficacia cognitivo/affettiva risulti relativamente più bassa, quella pratica si colloca su valori moderatamente elevati. Il dato conferma l'ipotesi secondo cui, in questa fase di sviluppo, le attività manuali e laboratoriali risultano particolarmente adeguate ed efficaci.
Nella scuola secondaria di primo grado si registra un lieve incremento del punteggio medio in F1 (3.10), mentre F2 rimane relativamente stabile (3.29): un andamento che suggerisce l'avvio di una fase di transizione, in cui la fiducia nella comprensione e nell'applicazione dei concetti di robotica comincia a consolidarsi, pur mantenendo una certa continuità nelle competenze pratiche.
Gli studenti della scuola secondaria di secondo grado riportano i punteggi medi più alti in entrambi i fattori: 3.61 in F1 e 3.78 in F2. Ciò testimoniano una maggiore padronanza concettuale e una più elevata autonomia operativa, probabilmente riconducibili all'età, allo sviluppo cognitivo e alla possibilità di cimentarsi con progetti di RE più strutturati e ricchi di contenuti.
Le medie complessive – 3.11 per F1 e 3.43 per F2 – riflettono una percezione generalmente positiva dell'autoefficacia all'interno del campione. Le deviazioni standard, piuttosto omogenee tra i diversi gruppi, confermano una buona variabilità interna, mentre l'ampiezza dei punteggi, compresa tra 1 e 5, segnala un utilizzo completo della scala e l'assenza di effetti di soffitto.
I risultati evidenziano nel complesso una chiara tendenza evolutiva: l'autoefficacia cresce progressivamente con l'età e con il livello scolastico. Tuttavia, ciascuna fase mostra specifici punti di forza, come nel caso degli studenti più giovani, che traggono maggiore beneficio da esperienze pratiche e di tipo esperienziale.

A completamento delle analisi, è stata condotta una MANCOVA per valutare l'effetto del livello scolastico e del genere sui punteggi medi dei due fattori del RLSES. Le valutazioni sono state condotte controllando l'effetto di specifiche covariate, quali il numero di ore di progetto, l'utilità percepita e il grado di divertimento legato all'attività. Tali differenze sono state evidenziate proprio attraverso l'applicazione della MANCOVA, in cui le due scale del questionario sono state considerate come variabili dipendenti, mentre tra i fattori indipendenti sono stati inclusi il genere e il livello scolastico.
I risultati hanno messo in luce un effetto statisticamente significativo legato al livello scolastico (F1: $F = 29.322$; $df = 2;336$; $p < .01$; F2: $F = 18.108$; $df = 2;336$; $p < .01$). Gli studenti della scuola secondaria di secondo grado hanno mostrato livelli di autoefficacia significativamente più elevati in entrambi i fattori rispetto ai loro coetanei della scuola secondaria di primo grado e della scuola primaria. Questi dati confermano la presenza di un chiaro andamento evolutivo, in cui l'autoefficacia cresce con l'aumentare del livello scolastico, riflettendo lo sviluppo cognitivo e l'esposizione a esperienze di RE più complesse e strutturate. Inoltre, è emerso che l'effetto del

livello scolastico risulta mediato dalla significatività delle covariate relative al grado di divertimento e all'utilità percepita, che influenzano in maniera rilevante i punteggi di autoefficacia. I punteggi medi del fattore F1 aumentano in modo significativo passando dai livelli scolastici inferiori a quelli superiori (Figura 13).

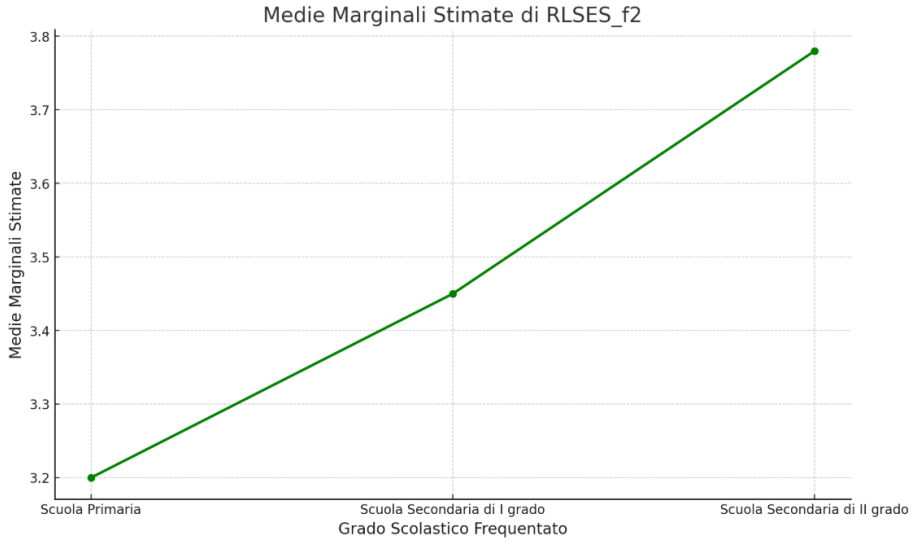
Figura 13. Andamento dei punteggi medi di F1 in relazione al grado scolastico



Come mostra il grafico (Figura 13), i punteggi medi riportati del Fattore 1 – autoefficacia cognitiva e affettiva nei tre livelli scolastici: primaria, secondaria di primo grado e secondaria di secondo grado, hanno un andamento crescente e statisticamente significativo. Gli studenti della scuola secondaria di secondo grado presentano i livelli più alti di autoefficacia percepita nella comprensione, applicazione, analisi e collaborazione in compiti di robotica. Tale risultato può essere attribuito sia a fattori evolutivi – come la maturità cognitiva e la consapevolezza metacognitiva – sia a elementi contestuali, dal momento che i progetti di RE nella scuola secondaria di secondo grado sono spesso più strutturati, di maggiore durata e più complessi nei contenuti, favorendo così la fiducia e il senso di padronanza degli studenti. È tuttavia rilevante sottolineare che anche gli alunni della scuola primaria hanno ottenuto punteggi moderatamente alti, a conferma del fatto che i più giovani possono trarre benefici significativi dalla RE se adeguatamente supportati.

I punteggi medi relativi al Fattore 2 (autoefficacia pratica) aumentano in modo significativo passando dai livelli scolastici inferiori a quelli superiori (Figura 14). Gli studenti della scuola secondaria di secondo grado riportano i valori più alti, mentre quelli della primaria mostrano una *performance* relativamente buona rispetto ai coetanei della secondaria di primo grado. Si può spiegare tale andamento considerando il carattere più concreto, ludico e manipolativo delle attività di RE nella scuola primaria, che favorisce la fiducia nella gestione e nell'assemblaggio dei robot. Al contrario, nella scuola secondaria di primo grado gli studenti affrontano richieste più astratte laddove le competenze tecniche sono ancora in fase di consolidamento. Nel complesso, i risultati suggeriscono che un'esposizione precoce e adeguata alla RE può rafforzare in modo significativo l'autoefficacia degli studenti.

Figura 14. Andamento dei punteggi medi di F2 in relazione al grado scolastico



Di particolare rilievo è l'analisi della validità criterio-orientata della scala RLSES, volta a verificare se il numero di ore dedicate dagli studenti alle attività di RE incidesse in modo significativo sui punteggi di autoefficacia. A tal fine è stata condotta una MANOVA, utilizzando un *median split* che ha distinto due gruppi: studenti con meno di 25 ore di esperienza in RE e studenti con oltre 25 ore. I risultati sono molto chiari: gli studenti con più di 25 ore di esperienza hanno mostrato livelli di autoefficacia significativamente più elevati in entrambi i fattori – sia quello cognitivo/affettivo che quello pratico. Ciò suggerisce che un'esposizione prolungata alla RE – e non soltanto un singolo laboratorio o workshop – rappresenti un elemento chiave per rafforzare la fiducia degli studenti nelle proprie capacità di apprendimento.
Emerge inoltre un dato particolarmente interessante: i punteggi relativi al Fattore 2, ovvero la dimensione pratica, sono risultati significativamente più alti tra gli studenti della scuola primaria. Ciò conferma come un'esposizione precoce e di tipo esperienziale alla robotica possa essere particolarmente efficace nel costruire fiducia operativa, probabilmente perché i più giovani sono maggiormente attratti da attività concrete e tattili e tendono ad affrontare i compiti tecnologici con curiosità piuttosto che con timore di fallire.
Complessivamente, questi risultati indicano che tempo ed età giocano un ruolo importante, ma in modi diversi: il tempo favorisce il consolidamento dell'apprendimento e l'aumento della fiducia, mentre l'età influisce sul modo in cui gli studenti si rapportano ai compiti – soprattutto a quelli di natura pratica – secondo un percorso di sviluppo graduale.
All'interno della cornice delineata, il box di seguito offre una trattazione analitica delle modalità di impiego dell'RLSES, dei benefici attesi e delle procedure di somministrazione e *scoring*, traducendo le evidenze fin qui discusse in indicazioni operative per la rilevazione dei profili, il monitoraggio dei progressi e l'orientamento della progettazione didattica della RE.

Box: RLSES a scuola: modalità d'uso e benefici

Il *Robotics Learning Self-Efficacy Scale* (RLSES) rileva l'autoefficacia percepita degli studenti nell'apprendere con e attraverso la robotica su due dimensioni:

- F1: autoefficacia cognitivo-affettiva (comprensione, applicazione, analisi, collaborazione, comunicazione);
- F2: autoefficacia pratica (costruire, assemblare, *troubleshooting*).

Scopi principali.

- Screening iniziale (pre-intervento): mappare profili di partenza per calibrare attività e gruppi.
- Monitoraggio formativo (in itinere): intercettare bisogni emergenti e regolare *scaffolding* e ruoli.
- Valutazione d'impatto (post / *follow-up*): documentare i cambiamenti e la loro stabilità.
- Rendicontazione e miglioramento: supportare scelte curricolari.

Somministrazione.

- Formato: 16 item Likert (1–5). Somministrazione individuale, anonima o con codice.
- Tempi: breve; integrabile all'inizio/fine di una sessione o modulo.
- Istruzioni agli studenti: "non esistono risposte giuste/sbagliate; indicate quanto vi sentite capaci".
- Accessibilità (UDL): lettura ad alta voce e tempi aggiuntivi se necessario.
- Frequenza: almeno pre e post; *follow up* consigliato per progetti di media/lunga durata.

Punteggi e interpretazione.

- Scoring: media separata di F1 (12 item) e F2 (4 item); un totale generale è opzionale.
- Lettura dei profili:
    - F1 basso / F2 alto: rafforzare clima collaborativo, esplicitare obiettivi/criteri, routine metacognitive.
    - F1 alto / F2 basso: intensificare guida procedurale, micro-task di assemblaggio, checklist e ruoli tecnici.
- Confronti: usare differenze pre-post per classe; riferirsi ai dati normativi per ordine di scuola.
- Triangolazione: affiancare rubriche di performance, artefatti di progetto e osservazioni strutturate.

Benefici.

- Decisioni basate su evidenze: dati sintetici e comparabili per classi, plessi e cicli.
- Personalizzazione: adattare compiti, ruoli e *scaffolding* a profili F1/F2.
- Equità e inclusione: monitorare differenze per genere, età, *background*; documentare progressi di gruppi vulnerabili.
- Comunicazione educativa: restituire esiti a studenti in chiave formativa.
- Allineamento con ERIM e UDL: coerenza con obiettivi, metodi e artefatti; integrazione nel curricolo.

Chiarimenti metodologici.

- Non sostituisce prove di performance: va usato insieme a rubriche o compiti autentici.
- Etica e *privacy*: informativa chiara, consenso (se richiesto), gestione sicura dei dati.

Procedura per l'applicazione.

1. Definire obiettivi e indicatori.
2. Somministrare RLSES-pre.
3. Realizzare il modulo RE (ruoli, cicli progettazione–*test–debug, feedback*).
4. Somministrare RLSES-post + rubriche di performance.

5. Analizzare i dati (F1/F2; differenze pre–post; note qualitative).
6. Restituire e migliorare (azioni correttive; pianificazione ciclo successivo).

Esempi d'impiego a scuola.
Primaria: profilo F2 alto / F1 medio → potenziare riflessione guidata e verbalizzazione.
Secondaria I grado: F1 alto / F2 medio-basso → introdurre *checklist* di montaggio e micro-sfide di *troubleshooting.*
Secondaria II grado: F1 e F2 allineati → incrementare autonomia (*brief* aperti, rubriche di qualità, peer review).

6.3.3 Conclusioni: limiti e prospettive dello strumento

La RLSES rappresenta uno strumento strategico per il sostegno e la promozione della RE nelle scuole e offre un contributo significativo sia alla ricerca sia alla pratica didattica. In primo luogo, consente una pianificazione didattica basata su evidenze, fornendo agli insegnanti dati empirici solidi su cui fondare le proprie scelte metodologiche e pedagogiche. Questo approccio non solo supporta la progettazione di attività più mirate ed efficaci, ma permette anche di adattare i percorsi educativi alle caratteristiche e ai bisogni specifici degli studenti.
In secondo luogo, lo strumento si rivela utile per la valutazione in due tempi (pre e post) delle attività di RE, consentendo di misurare in modo sistematico l'impatto delle esperienze proposte e di monitorare i cambiamenti nel tempo. Tale possibilità costituisce un vantaggio importante sia per gli insegnanti, che possono verificare la bontà delle strategie didattiche adottate, sia per i ricercatori, che dispongono di indicatori affidabili per analizzare l'efficacia degli interventi. A titolo esemplificativo la lettura dei profili F1 e F2 può supportare nell'adattamento dei compiti, potenziando il setting collaborativo qualora F1 mostrasse punteggi bassi o, nel caso anche F2 mostrasse punteggi bassi, rafforzando la guida procedurale.
Un ulteriore punto di forza della RLSES è la capacità di monitorare i progressi degli studenti sul piano cognitivo, affettivo e pratico-operativo, restituendo un quadro completo dello sviluppo dell'autoefficacia in relazione alla RE. Questo aspetto assume particolare rilevanza in un contesto scolastico in cui il potenziamento delle competenze digitali e STEM costituisce una priorità strategica a livello nazionale e internazionale. Alla luce di queste considerazioni, la RLSES si propone non soltanto come uno strumento di valutazione, ma come un vero alleato per l'innovazione educativa. Essa permette di coniugare ricerca e pratica, fornendo un modello di riferimento per la valutazione e il miglioramento continuo nella progettazione di attività di RE. In questa prospettiva, la RLSES emerge come un *tool* strategico per la diffusione e l'implementazione della RE a scuola, pienamente in linea con le priorità educative nazionali e internazionali orientate allo sviluppo delle competenze digitali, scientifiche e tecnologiche del XXI secolo.
Pur a fronte dei risultati che attestano la solidità e l'utilità dell'RLSES, si impone la necessità di riflettere criticamente sia sulle prospettive future di ricerca sia sui limiti metodologici insiti nello strumento. Da un lato, ulteriori analisi permetteranno di verificare le dimensioni individuate in questo studio in relazione ad altre variabili, come gli obiettivi di apprendimento specifici dei laboratori di RE o i diversi ambiti di applicazione, ampliando così la portata e la

generalizzabilità dei risultati. Dall'altro, occorre sottolineare una limitazione intrinseca legata al tipo di strumento: le scale di autovalutazione, sebbene consentano la raccolta di dati su larga scala, si basano sulle percezioni soggettive dei partecipanti, influenzabili da fattori individuali o contestuali. Per questo motivo, sarà opportuno integrare le risultanze, negli studi futuri, con ulteriori dati raccolti mediante metodologie complementari, come osservazioni dirette, prove di *performance* o valutazioni esterne, così da restituire un quadro più completo e robusto dei processi di apprendimento in RE. Nel complesso, i risultati offrono a educatori e ricercatori uno strumento solido e affidabile per misurare l'autoefficacia degli studenti nell'apprendimento della RE, mettendo a disposizione dati normativi di riferimento differenziati per livello scolastico e utili a orientare pratiche didattiche basate su evidenze. Lo strumento non è concepito unicamente per fini di ricerca, ma ambisce a costituire un supporto operativo concreto per gli insegnanti impegnati nella progettazione, nella realizzazione e nella valutazione di attività di RE.

Conclusioni

Il percorso che abbiamo intrapreso in questo volume muove da un presupposto chiaro: la *robotica educativa* (RE) non è una semplice innovazione tecnologica, ma una cornice epistemologica e pedagogica capace di ripensare il rapporto tra scuola, conoscenza e tecnologia.
Nei primi tre capitoli si è ricostruito il terreno teorico su cui poggia la ricerca successivamente illustrata, delineando i fondamenti concettuali e le principali sfide che l'integrazione della robotica porta con sé.
Nel primo capitolo, in particolare, è stato sottolineato come la RE si inscriva nel panorama delle tecnologie dell'educazione in una posizione peculiare. Diversamente da altri strumenti digitali, essa non si limita a mediare contenuti, ma genera situazioni di apprendimento attivo e laboratoriale che coinvolgono direttamente il corpo, lo spazio e le relazioni tra pari. La costruzione e la programmazione di un robot, infatti, non si esauriscono in un esercizio tecnico: richiedono di tradurre idee astratte in artefatti concreti, attivando processi di *problem solving*, pianificazione e riflessione metacognitiva. L'approccio incarna la logica dei *mind-tools* (Jonassen, 1996), strumenti che non sostituiscono la mente ma la estendono, e si innesta nelle prospettive costruttiviste e costruzioniste che hanno attraversato la pedagogia del Novecento (Piaget, 1952; Papert, 1980). Non è casuale che il linguaggio di programmazione LOGO, ideato proprio da Papert, rappresenti il precursore delle attuali pratiche di *coding* e *making*: l'idea di fondo resta quella di un apprendimento situato, in cui l'alunno è produttore di significato e non semplice fruitore di contenuti. In questa chiave, la RE va letta come pratica culturale prima ancora che come innovazione tecnologica. Essa si radica in un movimento più ampio che coinvolge le politiche educative, il dibattito scientifico e la diffusione sociale delle tecnologie digitali. Le comunità di pratica nate intorno alla robotica – dai *CoderDojo* alla piattaforma *Roteco* – testimoniano che la RE non è solo materia di ricerca accademica, ma una pratica educativa diffusa che risponde a bisogni concreti di insegnanti, studenti e famiglie.
Il secondo capitolo ha principalmente affrontato il nodo cruciale del rapporto tra RE e *funzioni esecutive* (FE). Le FE – memoria di lavoro, controllo inibitorio, flessibilità cognitiva, pianificazione e *problem solving* – costituiscono un insieme di processi cognitivi di ordine superiore che regolano il comportamento e l'apprendimento. Esse rappresentano oggi un tema centrale sia nella ricerca neuropsicologica sia nella riflessione pedagogica, in quanto determinanti per il successo scolastico e per lo sviluppo dell'autoregolazione. La letteratura mostra come la scuola primaria sia il contesto privilegiato per il potenziamento delle FE, essendo questa la fase di sviluppo in cui esse conoscono la maggiore plasticità. La RE si rivela particolarmente promettente a questo riguardo: le attività di costruzione e programmazione dei robot richiedono di mantenere e manipolare informazioni (memoria di lavoro), inibire risposte impulsive (controllo inibitorio), adattarsi a vincoli e imprevisti (flessibilità cognitiva), pianificare sequenze di azioni (pianificazione). Il capitolo ha inoltre messo in evidenza le ricadute inclusive di questo

approccio: per gli alunni con *bisogni educativi speciali* (BES), la robotica può costituire un contesto facilitante, capace di valorizzare modalità di apprendimento alternative e di promuovere il lavoro cooperativo. Le implicazioni didattiche sono rilevanti: potenziare le FE attraverso la RE non significa solo migliorare specifiche abilità cognitive, ma creare condizioni favorevoli a una partecipazione più equa e motivante alle attività scolastiche.

Il terzo capitolo ha spostato lo sguardo dal piano cognitivo a quello istituzionale e organizzativo, analizzando l'introduzione della RE nei contesti scolastici. Qui emergono, accanto alle potenzialità della RE, una serie di criticità che non possono essere ignorate. Dal lato delle opportunità, la RE si inserisce nelle traiettorie di innovazione didattica sostenute dalle politiche nazionali e internazionali, che spingono verso l'integrazione delle tecnologie digitali e la promozione del pensiero computazionale. Inoltre, la natura laboratoriale e collaborativa delle attività di robotica favorisce il coinvolgimento degli studenti e la creazione di ambienti di apprendimento attivi.
Dal lato delle criticità, tuttavia, emergono diversi ostacoli:

- La *disponibilità di risorse tecnologiche* non è sempre garantita, specie nelle scuole periferiche o con *budget* limitati.
- La *formazione degli insegnanti* risulta disomogenea: sebbene esistano esperienze virtuose di formazione universitaria e in servizio, la maggior parte dei docenti si trova a gestire la robotica con strumenti e competenze limitate.
- La *valutazione degli apprendimenti* legati alla RE è ancora un terreno in costruzione, con la necessità di sviluppare strumenti affidabili e validi che vadano oltre la semplice osservazione qualitativa.
- Le *percezioni degli attori coinvolti* (studenti, genitori, docenti) mostrano entusiasmi ma anche resistenze: se i bambini tendono a vivere la robotica come attività motivante, i genitori possono percepirla come marginale rispetto alle discipline *core*, mentre i docenti oscillano tra entusiasmo e preoccupazione per la sostenibilità didattica.

Nel complesso, si può affermare come la prima parte del volume abbia permesso di chiarire che la RE non è una soluzione semplice né una moda passeggera: essa è piuttosto un terreno complesso in cui si intrecciano dimensioni pedagogiche, cognitive, istituzionali e sociali. Capirne il potenziale e i limiti è condizione necessaria per poterla integrare in modo efficace e sostenibile.

Le ricerche presentate nel quarto capitolo hanno offerto un contributo originale nel documentare gli effetti della RE in contesti scolastici reali. I due casi – la scuola primaria del Sud Sardegna e le scuole del Canton Ticino – mostrano come l'impatto della RE non possa essere letto in termini assoluti, ma debba essere sempre interpretato alla luce del contesto curricolare, delle modalità organizzative e delle caratteristiche degli studenti coinvolti. In Sardegna, la RE è stata integrata all'interno del curricolo ordinario con l'obiettivo di monitorare non solo le FE, ma anche il *problem solving* aritmetico e le dinamiche inclusive. I dati hanno evidenziato dei progressi significativi in compiti che richiedono pianificazione e autoregolazione, oltre a un miglioramento della percezione degli studenti rispetto al lavoro collaborativo. Tuttavia, gli effetti più consistenti si sono osservati laddove i laboratori erano gestiti con un impianto

metodologico coerente, confermando che la sola presenza della tecnologia non è sufficiente a generare apprendimento di qualità. In Ticino, l'approccio quasi-sperimentale ha consentito un monitoraggio più mirato su specifiche dimensioni del funzionamento esecutivo, quali il controllo attentivo, la memoria di lavoro e la regolazione emotivo-comportamentale. Anche in questo caso i risultati confermano l'efficacia della RE come contesto per esercitare funzioni cognitive complesse, ma con variazioni legate alle caratteristiche dei gruppi classe e alle competenze pregresse degli alunni. La percezione degli studenti, raccolta tramite questionari, ha inoltre sottolineato il valore motivazionale e relazionale dei laboratori, con ricadute positive sul clima scolastico.

I due studi convergono nel mostrare che la RE ha un potenziale inclusivo e formativo, ma i suoi esiti sono condizionati dal contesto di applicazione. Differenze nei disegni di ricerca, negli strumenti adottati e nelle condizioni di partenza permettono di cogliere la natura situata e non lineare degli effetti.

Il quinto capitolo ha ampliato la prospettiva, spostando l'attenzione dal piano degli studenti a quello dei docenti. Lo studio condotto attraverso il *Robotics Interest Questionnaire* (RIQ) ha evidenziato come l'integrazione efficace della RE non dipenda soltanto dalla disponibilità di strumenti, ma sia profondamente influenzata da alcune dimensioni chiave. In primo luogo, l'autoefficacia e le conoscenze specifiche, ovvero la percezione di sentirsi competenti nell'utilizzo della robotica, risultano determinanti per sostenere l'adozione consapevole di tali pratiche. Accanto a questo, l'interesse verso le discipline STEM e per la stessa RE emerge come motore motivazionale che alimenta la propensione all'innovazione didattica. Un ulteriore aspetto riguarda la capacità di lavorare in modo collaborativo, intesa come disponibilità a progettare, riflettere e confrontarsi all'interno di *team* docenti. Infine, le competenze di *problem solving* assumono un ruolo cruciale, poiché consentono di affrontare la complessità e l'imprevedibilità tipiche delle attività di RE. Questi fattori costituiscono non solo indicatori dello stato attuale, ma anche dimensioni strategiche per la formazione iniziale e in servizio. I dati mostrano che i docenti con maggiore esperienza o formazione in RE sono più propensi ad adottare approcci centrati sugli studenti, a sperimentare pratiche collaborative e a utilizzare la tecnologia in modo creativo. In altre parole, a parità di infrastruttura e di condizioni di classe, un più elevato livello di *expertise* in RE – rispetto a livelli di esperienza inferiori – potrebbe più facilmente tradursi in una maggiore capacità di mediazione didattica e di costruzione di ambienti di apprendimento inclusivi.

Un ulteriore elemento emerso riguarda l'importanza delle comunità di pratica. Esperienze come il *Robotic Camp* o piattaforme come *Roteco* rappresentano contesti privilegiati per sostenere lo sviluppo professionale, offrendo occasioni di confronto, scambio e co-progettazione, a conferma che l'efficacia della RE non può essere affidata solo alle competenze individuali dei singoli insegnanti, ma richiede un vero e proprio ecosistema formativo, capace di alimentare collaborazione e crescita reciproca. Le evidenze presentate nella seconda parte del volume convergono in un quadro unitario. Innanzitutto, mostrano che la RE non è mai un intervento neutro: essa agisce come dispositivo capace di attivare processi cognitivi, emotivi e relazionali, i cui esiti dipendono in larga misura da come viene progettata e mediata. In secondo luogo, risulta evidente che il contesto riveste un ruolo determinante, non solo sul piano istituzionale – tempi, curricolo, risorse disponibili – ma anche su quello relazionale, legato al clima di classe

e alla qualità della collaborazione tra docenti e studenti. Infine, emerge con chiarezza che il ruolo del docente resta centrale: le dimensioni di autoefficacia, interesse, capacità di *problem solving* e predisposizione al lavoro collaborativo si configurano come fattori decisivi, in grado di amplificare o, al contrario, di limitare l'impatto trasformativo della tecnologia. In questo senso, le ricerche empiriche non si limitano a dimostrare l'efficacia della RE in astratto, ma offrono indicazioni preziose su come e a quali condizioni essa possa funzionare. La lezione che emerge è chiara: la tecnologia da sola non basta. Sono la cornice pedagogica, le scelte didattiche e la professionalità docente a determinare il valore formativo della robotica.

Il sesto capitolo ha mostrato come l'*Universal Design for Learning* (UDL) offra una cornice teorico-operativa particolarmente adatta a integrare la RE in ottica inclusiva. L'UDL, infatti, non si limita a fornire linee guida prescrittive, ma propone una filosofia educativa orientata a rendere l'apprendimento accessibile, flessibile e motivante per tutti gli studenti, indipendentemente dalle loro caratteristiche cognitive, emotive o sociali. In questo quadro, la RE si presta in modo naturale a incarnare i tre principi cardine dell'UDL. Da un lato, i robot e le interfacce di programmazione consentono di tradurre concetti astratti in esperienze tangibili e manipolabili, offrendo molteplici modalità di rappresentazione dei contenuti. Dall'altro, gli studenti possono dimostrare ciò che hanno appreso non solo attraverso prove tradizionali, ma anche mediante la progettazione, la costruzione e la programmazione dei robot, ampliando così le modalità di espressione. Infine, la forte dimensione ludico-collaborativa che caratterizza la RE favorisce il coinvolgimento attivo degli studenti, stimolando motivazione, partecipazione e senso di appartenenza al gruppo. In tal senso, l'UDL non va inteso come un elemento sovrapposto alla RE, ma come una chiave interpretativa capace di valorizzarne le potenzialità intrinseche in termini di personalizzazione, accessibilità e inclusione. Il sesto capitolo sottolinea inoltre l'importanza di orientare le pratiche didattiche non soltanto sull'entusiasmo suscitato dalla novità tecnologica, ma su basi empiriche solide e documentate. In sintesi, i miglioramenti osservati nelle diverse dimensioni indagate devono essere ascrivibili alla progettazione e alla regia didattica, non al fenomeno *wow-effect* della tecnologia (Boyce *et al.*, 2014; Kamstrupp, 2016). È in questa prospettiva che assumono rilievo sia gli studi quasi-sperimentali, che hanno mostrato l'impatto della RE sulle FE e sul *problem solving*, sia le ricerche esplorative condotte con strumenti come il RIQ, capaci di mettere in luce il ruolo dei docenti come mediatori fondamentali. A ciò si affiancano, oltre alle diverse metanalisi pubblicate sul tema che ne orientano l'implementazione, le osservazioni sistematiche delle pratiche didattiche e delle dinamiche di classe, che offrono un quadro più articolato di come la RE agisca nei contesti reali di apprendimento. La prospettiva *evidence-based* non va, quindi, intesa in senso riduzionista, come ricerca di protocolli standardizzati da applicare in modo acritico, ma come impegno a radicare l'innovazione didattica su basi empiriche solide, costruite attraverso dati osservabili, replicabili e condivisibili. La RE, proprio perché situata e sensibile ai contesti, richiede un equilibrio tra rigore metodologico e apertura alla complessità delle pratiche scolastiche. Infine, il *Robotics Learning Self-Efficacy Scale* (RLSES) rappresenta un tentativo concreto di tradurre in uno strumento operativo la riflessione su come misurare e sostenere l'efficacia dell'apprendimento della robotica. La scala consente di rilevare la percezione di autoefficacia degli studenti rispetto all'uso della RE, offrendo un indicatore utile sia per la ricerca che per la valutazione di percorsi di RE a scuola. Più che un traguardo definitivo, il RLSES va inteso

come un punto di partenza: la sua applicazione e validazione in contesti diversi permetteranno di affinarlo e di trasformarlo in una risorsa stabile per i docenti, al fine di monitorare gli apprendimenti e orientare la progettazione didattica.
La conclusione del presente lavoro, dunque, non si limita a fornire un compendio operativo, ma chiude il percorso del volume richiamando tre direttrici strategiche che ne attraversano i contenuti. La prima riguarda l'efficacia della RE quando viene collocata all'interno di cornici inclusive e riflessive, come quella proposta dall'UDL, che consente di valorizzare la diversità degli studenti e di trasformarla in risorsa educativa. La seconda sottolinea l'importanza di orientare le scelte didattiche sulle evidenze di ricerca, al fine di favorire un'integrazione critica e consapevole delle tecnologie emergenti, da considerarsi come occasione per sostenere nuovi modi di apprendere e riflettere. La terza mette in luce la centralità della valutazione come condizione essenziale per garantire la sostenibilità, la diffusione e il miglioramento continuo delle pratiche di RE. In questa prospettiva, la robotica si configura come un vero e proprio ecosistema pedagogico, capace di coniugare ricerca e pratica, innovazione e inclusione, strumenti operativi e riflessione critica. Tre assi di continuità sostengono questo quadro: la centralità dello studente, non più semplice destinatario dell'insegnamento ma costruttore attivo di conoscenza; il ruolo cruciale del docente, inteso come progettista e mediatore capace di trasformare la tecnologia in opportunità formativa; e la necessità di un approccio sistemico, in grado di collegare cornici teoriche, evidenze empiriche, percorsi di formazione professionale e politiche educative.

Dal punto di vista della ricerca, il lavoro apre prospettive che meritano di essere sviluppate in modo più sistematico. La prima riguarda la dimensione longitudinale: finora, infatti, mancano studi che seguano nel tempo gli effetti della RE sulle FE e sugli apprendimenti. È cruciale comprendere se i benefici osservati nel breve periodo tendano a consolidarsi, ad ampliarsi o, al contrario, ad attenuarsi con il passare degli anni. Un secondo ambito riguarda la diversificazione dei contesti: la maggior parte delle indagini si concentra sulla scuola primaria, mentre restano ancora poco esplorati gli altri gradi scolastici, nei quali la RE potrebbe assumere significati e funzioni differenti. Accanto a questo, la letteratura futura dovrà rafforzare l'uso di metodologie miste, capaci di combinare dati quantitativi e qualitativi per cogliere non soltanto "quanto" la RE funzioni, ma anche "come" e "perché" essa produca determinati effetti. Un'attenzione particolare andrà riservata agli studenti con BES: servono studi mirati che ne valutino il potenziale compensativo, per verificare se e in che misura la robotica possa costituire uno strumento realmente inclusivo. Infine, si apre un orizzonte promettente nelle connessioni tra RE e IA: esplorare come queste due dimensioni possano interagire significa interrogarsi non solo sull'efficacia didattica, ma anche sul futuro dei modelli di insegnamento e apprendimento, mantenendo saldo il primato della mediazione educativa.
Sul piano delle politiche educative, il volume mostra chiaramente che la diffusione della robotica non può dipendere da iniziative isolate o da progetti pilota di breve respiro. Servono strategie strutturali e di lungo periodo. Tra le priorità emergono la formazione sistematica dei docenti, sia iniziale che in servizio, capace di integrare competenze tecniche, pedagogiche e riflessive; investimenti infrastrutturali sostenibili, che vadano oltre la semplice dotazione di kit e si traducano nella creazione di ambienti di apprendimento flessibili e inclusivi; quadri di riferimento nazionali in grado di orientare le scuole senza soffocare l'innovazione locale,

favorendo reti di collaborazione e comunità di pratica; e, non da ultimo, politiche fondate su una reale valutazione di impatto, supportate da sistemi di monitoraggio e *feedback* continui, piuttosto che da sole dichiarazioni di intenti.

All'interno di questo scenario, il docente emerge come la vera leva del cambiamento. Affinché la RE diventi un'esperienza educativa di qualità, occorre investire nella sua formazione in tre direzioni principali. La prima riguarda i saperi disciplinari e tecnologici, indispensabili per acquisire familiarità con i robot, le interfacce di programmazione e le metodologie didattiche più efficaci. La seconda concerne le competenze pedagogiche, necessarie per collocare la RE all'interno di approcci costruttivisti, inclusivi e collaborativi. La terza, forse la più decisiva, attiene alla dimensione riflessiva: sviluppare un *habitus* professionale che consenta di valutare criticamente pratiche e strumenti, adattandoli alle specificità dei diversi contesti. In questa prospettiva, la formazione in RE non può ridursi a un'educazione tecnica, ma va intesa come un processo complesso di professionalizzazione, che richiede tempo, comunità di supporto e occasioni di ricerca-azione.

La sfida che si apre è duplice. Da un lato, occorre evitare il rischio del tecnocentrismo: la RE non deve essere concepita come un fine in sé, ma come un mezzo al servizio di una pedagogia dell'inclusione e dell'innovazione. Dall'altro, è indispensabile coltivare una cittadinanza critica, in cui studenti e docenti siano messi nella condizione non solo di utilizzare robot e sistemi di IA, ma anche di comprenderne le implicazioni etiche, sociali e culturali. Se ben orientata, la RE può contribuire a formare cittadini capaci di affrontare la complessità del XXI secolo, unendo pensiero computazionale e pensiero critico, abilità esecutive e sensibilità etica.

In definitiva, il volume mette alla prova e conferma la seguente tesi: non è la tecnologia, di per sé, a produrre innovazione, ma la capacità degli insegnanti e delle comunità educative di trasformarla in opportunità di crescita. La RE, grazie alle sue potenzialità cognitive, inclusive e relazionali, rappresenta una leva concreta per ripensare l'agire didattico e rendere il sistema scolastico più equo, partecipativo e orientato al futuro, a patto che chi abita la scuola sappia valorizzarla.

Bibliografia

Ackermann, E. (2001). Piaget's Constructivism, Papert's Constructionism: What's the difference? *Constructivism: uses and perspectives in education*, 85–94. https://doi.org/10.1111/j.1526-4610.2005.t01-1-05013.x

Adams, C., Cutumisu, M., & Lu, C. (2019, March). Measuring K-12 computational thinking concepts, practices and perspectives: An examination of current CT assessments. *In Society for Information Technology & teacher education international conference* (pp. 275-285). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).

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, vol 560. (Vol. 560, pp. 43–57). Springer International Publishing Ag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9

Agus, M., Bonaiuti, G., & Marras, A. (2023). Psychometric Validation of the Robotics Interest Questionnaire (RIQ) Scale with Italian Teachers. *Journal of Science Education and Technology*. https://doi.org/10.1007/s10956-023-10075-8

Agus, M., Marras, A., & Negrini, L. (2025). The Italian Version of the Robotics Learning Self-Efficacy Scale (RLSES-IT): Assessment of psychometric features in a sample of young students. *Social Sciences & Humanities Open*, 11(May). https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101646

Ahn, H.S., Usher, E.L., Butz, A. and Bong, M. (2016), Cultural differences in the understanding of modelling and feedback as sources of self-efficacy information. *Br J Educ Psychol*, 86: 112-136. https://doi.org/10.1111/bjep.12093

Ajlouni, A. (2023). The Impact of Instruction-Based LEGO WeDo 2.0 Robotic and Hypermedia on Students' Intrinsic Motivation to Learn Science. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *17*(1), 22–39. https://doi.org/10.3991/ijim.v17i01.35663

Akgun, M., & Atici, B. (2023). Bibliometric Map of Educational Robotics Studies. *International Journal of Technology in Education*, *6*(2), 283–309. https://doi.org/10.46328/ijte.402

Aksayli, N. D., Sala, G., & Gobet, F. (2019). The cognitive and academic benefits of Cogmed: A meta-analysis. *Educational Research Review*, *27*, 229–243. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.003

Aldhilan, D., Rafiq, S., & Afzal, A. (2025). Saudi Arabian preschool teachers' perceptions, positive and negative experiences of play-based robotics activities. *Cogent Education*, 12(1), 2516375.

Alemi, M., Meghdari, A., & Ghazisaedy, M. (2015). The Impact of Social Robotics on L2 Learners' Anxiety and Attitude in English Vocabulary Acquisition. *International Journal of Social Robotics*, *7*(4), 523–535. https://doi.org/10.1007/s12369-015-0286-y

Alessandri, G., & Paciaroni, M. (2012). Robotica Educativa : la Robotica da strumento di fantasia a strumento per la fantasia. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, *8*, 75–83.

Alimisi, R., Loukatos, D., Zoulias, E., & Alimisis, D. (2020). Introducing the Making Culture in Teacher Education: The eCraft2Learn Project. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *946*, 27–41.

Alimisis, D. (2012). Robotics in Education & Education in Robotics: Shifting Focus from Technology to Pedagogy. *Proceedings of the 3rd International Conference on Robotics in Education*, 7–14.

Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in*

Science and Technology Education, *6*(1), 63–71. http://earthlab.uoi.gr/theste/index.php/theste/article/view/119

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., Frangou, S., & Papanikolaou, K. (2009). A constructivist methodology for teacher training in educational robotics: The TERECoP course in greece through trainees' eyes. *Proceedings - 2009 9th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2009*, 24–28. https://doi.org/10.1109/ICALT.2009.86

Alimisis, D., & Kynigos, C. (2009). Constructionism and Robotics in education. In Dimitris Alimisis (Ed.), *Teacher Education on Robotics Enhanced Constructivist Pedagogical Methods* (pp. 11–26). New Technologies Publications.

Alimisis, D., & Moro, M. (2013). Editorial: Special issue " Teaching robotics, teaching with robotics ". *Themes in Science & Technology Education*, *6*(1), 3–4.

Alimisis, D., & Moro, M. (2016). Special issue on educational robotics. *Robotics and Autonomous Systems*, *77*, 74–75. https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.12.006

Alimisis, D. (2021). Technologies for an inclusive robotics education. *Open Research Europe*, 1:40. https://doi.org/10.12688/openreseurope.14068.2

Alonso-García, S., Rodríguez Fuentes, A. V., Ramos Navas-Parejo, M., & Victoria-Maldonado, J. J. (2024). Enhancing computational thinking in early childhood education with educational robotics: A meta-analysis. Heliyon, 10(13). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33249

Alsoliman, B. S. H. (2018). The Utilization of Educational Robotics in Saudi Schools: Potentials and Barriers from the Perspective of Saudi Teachers. *International Education Studies*, *11*(10), 105. https://doi.org/10.5539/ies.v11n10p105

Álvarez, A., & Larrañaga, M. (2016). Experiences Incorporating Lego Mindstorms Robots in the Basic Programming Syllabus: Lessons Learned. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, *81*(1), 117–129. https://doi.org/10.1007/s10846-015-0202-6

Alvarez, L., Rios, A. M., Adams, K., Encarnação, P., & Cook, A. M. (2013). From Infancy to Early Childhood: The Role of Augmentative Manipulation Robotic Tools in Cognitive and Social Development for Children with Motor Disabilities Conference. *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*, *1*(April), 409–413. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34546-3

Amanatiadis, A., Kaburlasos, V. G., Dardani, C., & Chatzichristofis, S. A. (2017). Interactive Social Robots in Special Education. *Proceedings of the 2017 IEEE 7th International Conference on Consumer Electronics – Berlin (ICCE-Berlin)*, 210–213.

Anderson, P. (2002). Assessment and development of executive function (EF) during childhood. *Child Neuropsychology*, *8*(2), 71–82. https://doi.org/10.1076/chin.8.2.71.8724

Anderson, V. (1998). Assessing executive functions in children: Biological, psychological, and developmental considerations. *Neuropsychological Rehabilitation*, *8*(3), 319–349. https://doi.org/10.1080/713755568

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. 37–42). Innsbruck University Press.

Anwar, S., Bascou, N. A., Menekse, M., & Kardgar, A. (2019). A systematic review of studies on educational robotics. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, *9*(2), 19–42. https://doi.org/10.7771/2157-9288.1223

Arar, C., Belazoui, A., & Telli, A. (2021). Adoption of social robots as pedagogical aids for efficient learning of second language vocabulary to children. *Journal of E-Learning and*

Knowledge Society, *17*(3), 119–126. https://doi.org/10.20368/1971-8829/1135551
Arfé, B., Vardanega, T., Montuori, C., & Lavanga, M. (2019). Coding in Primary Grades Boosts Children's Executive Functions. *Frontiers in Psychology*, *10*(December), 1–19. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02713
Arfé, Barbara, Vardanega, T., & Ronconi, L. (2020). The effects of coding on children's planning and inhibition skills. *Computers and Education*, *148*(May 2019). https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103807
Ashdown, D., & Doria, D. (2012). A robotics based design activity to teach the doppler effect. *IEEE 2nd Integrated STEM Education Conference*, 1–3.
Asimov, I. (1950). *I, Robot*. Doubleday.
Astrea, G., Battini, R., Lenzi, S., Frosini, S., Bonetti, S., Moretti, E., Perazza, S., Santorelli, F. M., & Pecini, C. (2016). Learning disabilities in neuromuscular disorders: a springboard for adult life. *Acta Myologica : Myopathies and Cardiomyopathies: Official Journal of the Mediterranean Society of Myology*, *35*(2), 90–95.
Athanasiou, L., Mikropoulos, T. A., & Mavridis, D. (2019). Robotics interventions for improving educational outcomes - A meta-analysis. In M. Tsitouridou, A. Diniz, J., & T. Mikropoulos (Eds.), *Technology and Innovation in Learning, Teaching and Education. TECH-EDU 2018. Communications in Computer and Information Science* (Vol. 993, pp. 91–102). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20954-4_7
Atmatzidou, S., & Demetriadis, S. (2014). How to support students' computational thinking skills in educational robotics activities. In *Proceedings of 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education* (Vol. 18, pp. 43-50). Padova, Italy.
Atmatzidou, S., & Demetriadis, S. (2015). Advancing students' computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences. *Robotics and Autonomous Systems*, *75*, 661–670. https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.10.008
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 (Part B), 661–670. https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.10.008
Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology. A cognitive view.* Holt, Rinehart and Winston.
Avello, R., Lavonen, J., & Zapata-Ros, M. (2020). Coding and educational robotics and their relationship with computational and creative thinking. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, *20*(63). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6018/red.413021
Babazadeh, M., & Negrini, L. (2022). How is computational thinking assessed in European K-12 education? A systematic review. *International Journal of Computer Science Education in Schools*, 5(4), 3–19. https://doi.org/10.21585/ijcses.v5i4.138
Baddeley, Alan D, & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology (Journal)*, *8*, 485–493. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:144930965
Bagattini, D., & Miotti, B. (2022). *Lavorare sul genere a scuola con coding e robotica educativa.* Carocci Editore.
Bagattini, D., Miotti, B., & Pedani, V. (2020). Coding and Educational Robotics Gender Stereotypes and Training Opportunities. In M. Colombo & L. Salmieri (Eds.), *The Education of Gender. The Gender of Education. Sociological Research in Italy* (Issue November, pp. 129–140). Associazione "Per Scuola Democratica." https://tinyurl.com/ScuolaDemocraticaOpenAccess
Bai, S., & Tian, P. (2025). Educational robotics may enhance students' conceptual knowledge, applied skills, and learning attitude in STEM education: A meta-analysis. *Educational*

Technology & Society, 28(4). https://doi.org/10.30191/ETS.202510_28(4).SP06
Bailey, C. E. (2007). Cognitive accuracy and intelligent executive function in the brain and in business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1118*, 122–141. https://doi.org/10.1196/annals.1412.011
Baldassarre, M., & Sasanelli, L. D. (2021). UDL e Tecnologie Inclusive: stato dell'arte e modelli per l'implementazione. *Journal of Education, Technology and Social Studies*, 13(3), 153–171.
Balestra, A. (2018). Nuove tecnologie e pensiero computazionale fra passato e presente: un'esperienza didattica nella scuola del primo ciclo. *Annali Online Della Didattica e Della Formazione Docente*, *9*(14), 318–331. https://doi.org/10.15160/2038-1034/1585
Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191–215. https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.191
Bandura, A. (1982). The assessment and predictive generality of self-percepts of efficacy. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *13*(3), 195–199. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0005-7916(82)90004-0
Bandura, A. (1994). Self-Efficacy. In V. S. Ramachaudran (Ed.), *Encyclopedia of human behavior* (Vol. 4, pp. 71–81). New York: Academic Press. https://doi.org/10.1177/0032885512472964
Bandura, A. (2000). *Autoefficacia teoria e applicazioni*. Erikson.
Bandura, A., & Schunk, D. H. (1981). Cultivating competence, self-efficacy, and intrinsic interest through proximal self-motivation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 41(3), 586.
Barak, M., & Zadok, Y. (2009). Robotics projects and learning concepts in science, technology and problem solving. *International Journal of Technology and Design Education*, *19*(3), 289–307. https://doi.org/10.1007/s10798-007-9043-3
Bargagna, S., Castro, E., Cecchi, F., Cioni, G., Dario, P., Dell'Omo, M., 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
Barkley, R. A. (1997). *ADHA and the nature of self-control*. Guilford Press.
Basham, J. D., & Marino, M. T. (2013). Understanding STEM Education and Supporting Students through Universal Design for Learning. *Teaching Exceptional Children*, 45(4), 8–15. https://doi.org/10.1177/004005991304500401
Basham, J. D., Gardner, J. E., & Smith, S. J. (2020). Measuring the Implementation of UDL in Classrooms and Schools: Initial Field Test Results. *Remedial and Special Education*, 41(4), 231-243. https://doi.org/10.1177/0741932520908015
Bavelier, D., & Green, C. S. (2019). Enhancing attentional control: Lessons from action video games. *Neuron*, 104(1), 147–163. https:// doi. org/ 10. 1016/j. neuron. 2019. 09. 031
Beals, L., & Bers, M. U. (2006). Robotic technologies: when parents put their learning ahead of their child's. *Journal of Interactive Learning Research*, *17*(4), 341–366.
Bellas, F., Naya, M., Varela, G., Llamas, L., Prieto, A., Becerra, J. C., Bautista, M., Faiña, A., & Duro, R. (2018). The Robobo Project: Bringing Educational Robotics Closer to Real-World Applications. In Wilfried Lepuschitz, M. Merdan, G. Koppensteiner, R. Balogh, & D. Obdržálek (Eds.), *Robotics in Education* (pp. 226–237). Springer International Publishing.
Belpaeme, T., Baxter, P., de Greeff, J., Kennedy, J., Read, R., Looije, R., Neerincx, M., Baroni, I., & Zelati, M. C. (2013). Child-Robot Interaction: Perspectives and Challenges. *Proceedings of the International Conference on Social Robotics*, 452–459. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02675-6
Belpaeme, T., Kennedy, J., Ramachandran, A., Scassellati, B., & Tanaka, F. (2018). Social robots for education: A review. *Science Robotics*, *3*(21).

https://doi.org/10.1126/scirobotics.aat5954
Belpaeme, T., & Tanaka, F. (2021). Social Robots as educators. In *OECD Digital Education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with Artificial Intelligence, Blockchain and Robots*. OECD Publishing, Paris. https://doi.org/https://doi.org/10.1787/1c3b1d56-en
Beltrametti, M., Campolucci, L., Maori, D., Negrini, L., & Sbaragli, S. (2017). La robotica educativa per l'apprendimento della matematica. Un'esperienza nella scuola elementare. *Didattica Della Matematica. Dalla Ricerca Alle Pratiche d'aula*, *1*, 123–144. https://doi.org/10.33683/ddm.17.1.7
Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers and Education*, *58*(3), 978–988. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.10.006
Berland, M., & Wilensky, U. (2015). Comparing Virtual and Physical Robotics Environments for Supporting Complex Systems and Computational Thinking. *Journal of Science Education & Technology*, 24(5), 628–647. https:// doi. org/ 10. 1007/ s10956- 015- 9552-x
Bernstein, D., & Crowley, K. (2008). Searching for signs of intelligent life: An investigation of young children's beliefs about robot intelligence. *Journal of the Learning Sciences*, *17*(2), 225–247. https://doi.org/10.1080/10508400801986116
Berry, D. (2012). Inhibitory control and teacher–child conflict: Reciprocal associations across the elementary-school years. *Journal of Applied Developmental Psychology*, *33*(1), 66–76. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.appdev.2011.10.002
Bers, M. U., Flannery, L., Kazakoff, E. R., & Sullivan, A. (2014). Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers and Education*, *72*, 145–157. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.10.020
Bers, M. U., & Urrea, C. (2000). Technological Prayers: Parents and Children Working with Robotics and Values. In A. Druin & J. Hendler (Eds.), *Robots for Kids: Exploring New Technologies for Learning Experiences* (pp. 194–217). Morgan Kaufman.
Bers, M. U. (2007). Project interactions: a multigenerational robotic learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, *16*(6), 537–552.
Bers, M. U., & Portsmore, M. (2005). Teaching partnerships: Early childhood and engineering students teaching math and science through robotics. *Journal of Science Education and Technology*, *14*(1), 59–73. https://doi.org/10.1007/s10956-005-2734-1
Bers, M. U. (2021). *Coding as a Playground. Programming and Computational Thinking in the Early Childhood Classroom.* Taylor & Francis. https://doi.org/10.4324/9781315398945
Bers, M. U., Ponte, I., Juelich, C., Viera, A., & Schenker, J. (2002). Teachers as Designers: Integrating Robotics in Early Childhood Education. *Information Technology in Childhood Education Annual*, *2002*(1), 123–145. https://www.learntechlib.org/p/8850
Berthelot, R., Salin M.H., 1994, Common Spatial Representations and their Effects upon Teaching and Learning of Space and Geometry, Proc. PME XVIII, Lisbona, vol. 2, 72-79
Bertolini, P. (1996). *Dizionario di pedagogia e scienze dell'educazione*. Zanichelli.
Besio, S. (2009). Giocattoli robotici per la disabilità: nuove opportunità per apprendere, partecipare, divertirsi. *TD Tecnologie Didattiche*, *47*(2), 28–37.
Besio, S. (2019). *Gioco e infanzia. Teorie e scenari educativi*. Carocci.
Betty, S. (2023). Promoting Executive Function Through Computational Thinking and Robot: Two Studies for Preschool Children and Hospitalized Children. In R. Balogh, D. Obdržálek, & E. Christoforou (Eds.), *Robotics in Education* (pp. 197–203). Springer Nature Switzerland.
Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, *78*(2), 647–663. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x

Bogliolo, A. (2020). *A scuola con CodyRoby. Il coding come gioco di ruolo*. Giunti Scuola.
Bonaiuti, G. (2014). *Le strategie didattiche*. Carocci Editore.
Bonaiuti, G., Campitiello, L., Di Tore, S., & Marras, A. (2022a). Educational robotics studies in Italian scientific journals: A systematic review. *Frontiers in Education*, *7*. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1005669
Bonaiuti, G., Marras, A., & Zurru, A. L. (2022b). La robotica educativa nelle percezioni degli insegnanti. *RicercAzione*, *14*(1), 131–156. https://doi.org/10.32076/RA14107
Bonaiuti, G., & Dipace, A. (2021). *Insegnare e apprendere in aula e in rete. Per una didattica blended efficace* (Vol. 223). Carocci.
Bonvillian, W. B. (2002). Science at a crossroads. *The FASEB Journal : Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, *16*(9), 915–921. https://doi.org/10.1096/fj.02-0119lsf
Borella, E., Carretti, B., & Pelegrina, S. (2010). The specific role of inhibition in reading comprehension in good and poor comprehenders. *Journal of Learning Disabilities*, *43*(6), 541–552. https://doi.org/10.1177/0022219410371676
Bowman-Smith, C. K., Aitken, C., Mahenthiran, T., Law, E., & Nilsen, E. S. (2025). Teaching social robots: the effect of robot mistakes on children's learning-through-teaching. *Frontiers in Developmental Psychology*, 3. https://doi.org/10.3389/fdpys.2025.1526486
Boyce, C. J., Mishra, C., Halverson, K. L., & Thomas, A. K. (2014). Getting Students Outside: Using Technology as a Way to Stimulate Engagement. *Journal of Science Education and Technology*, *23*(6), 815–826. https://doi.org/10.1007/s10956-014-9514-8
Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64051-8_9
Brown, T. (2013). *A new understanding of ADHD in children and adults: Executive function impairments.* Routledge.
Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Education Review*, *31*, 21–32.
Bruni, F., & Nisdeo, M. (2017). Educational robots and children's imagery: a preliminary investigation in the first year of primary school. *Research on Education and Media*, *9*(1), 37–44. https://doi.org/10.1515/rem-2017-0007
Bulgarelli, D., Bianquin, N., & Besio, S. (2020). The "Play for the Disability" projects. Contextual factors supporting play for the sake of play in children with disabilities. *Sistemi Intelligenti*, *XXXII*(1), 91–106. https://doi.org/https://doi.org/10.1422/96282
Bull, R., & Lee, K. (2014). Executive functioning and mathematics achievement. *Child Dev. Perspect.*, *8*, 36–41. https://doi.org/10.1111/cdep.12059
Burlin, L., Casonato, G., Saccardi, M., & Moro, M. (2021). Why Educational Robotics May Support Teachers to Discover, to Develop and to Promote Students' Talent: The GIF4T Approach. In M. M., A. D., & M. M. (Eds.), *Education in & with Robotics to Foster 21st-Century Skills. EDUROBOTICS 2021. Studies in Computational Intelligence, vol 982*. Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-77022-8_2
Bustillo, J., & Garaizar, P. (2016). Using Scratch to foster creativity behind bars: Two positive experiences in jail. *Thinking Skills and Creativity*, *19*, 60–72. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tsc.2015.08.003
Caci, B., D'Amico, A., & Cardaci, M. (2007). La robotica educativa come strumento di apprendimento e creatività. *Form@re - Open Journal per La Formazione in Rete*.
Calmet, C., Hirtzig, M., & Wilgenbus, D. (2016). *1,2,3… Codez! Enseigner l'informatique à l'école et au collège.* Editions Le Pommier.
Calvani, A. (1999). *I nuovi media nella scuola*. Carocci Editore.
Calvani, A. (2004). *Che cos'è la tecnologia dell'educazione*. Carocci Editore.

Cannì, G. (2018). *Didattica interculturale con gli EAS. L'aula come spazio narrativo di inclusione*. Scholé.

Cantin, R. H., Gnaedinger, E. K., Gallaway, K. C., Hesson-Mclnnis, M. S., & Hund, A. M. (2016). Executive functioning predicts reading, mathematics, and theory of mind during the elementary years. *Journal of Experimental Child Psychology*, *146*, 66–78. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.01.014

Caprara, G. V., Fida, R., Vecchione, M., Del Bove, G., Vecchio, G. M., Barbaranelli, C., *et al.* (2008). Longitudinal analysis of the role of perceived self-efficacy for self-regulated learning in academic continuance and achievement. *Journal of Educational Psychology*, 100, 525–534, http://dx.doi.org/10.1037/0022-0663.100.3.525.

Caprara, G. V., Vecchione, M., Alessandri, G., Gerbino, M., & Barbaranelli, C. (2011). The contribution of personality traits and self-efficacy beliefs to academic achievement: A longitudinal study. *British Journal of Educational Psychology*, 81, 78–96, http://dx.doi.org/10.1348/2044-8279.002004.

Carruba, M. C. (2014). *Tecnologia e disabilità*. PensaMultimedia.

Caruana, F., & Borghi, A. M. (2013). Embodied Cognition: una nuova psicologia. *Giornale Italiano Di Psicologia*, 23–48. https://doi.org/10.1421/73973

Casad, B. J., & Jawaharlal, M. (2012). Learning through guided discovery: An engaging approach to K-12 STEM education. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*. https://doi.org/10.18260/1-2--21643

CAST (2011). *Universal design for learning guidelines. Version 2.0*.

CAST (2018). *Universal design for learning guidelines. Version 2.2*.

CAST (2024). *Universal Design for Learning Guidelines. Version 3.0*. http://udlguidelines.cast.org

Castellanos, F. X., Sonuga-Barke, E. J. S., Milham, M. P., & Tannock, R. (2006). Characterizing cognition in ADHD: beyond executive dysfunction. *Trends in Cognitive Sciences*, *10*(3), 117–123. https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.01.011

Castro, E., Cecchi, F., Salvini, P., Valente, M., Buselli, E., Menichetti, L., Calvani, A., & Dario, P. (2018). Design and Impact of a Teacher Training Course, and Attitude Change Concerning Educational Robotics. *International Journal of Social Robotics*, *10*(5), 669–685. https://doi.org/10.1007/s12369-018-0475-6

Castro, E., Di Lieto, M. chiara, Pecini, C., Inguaggiato, E., Cecchi, F., Dario, P., Cioni, G., & Sgandurra, G. (2019). Educational Robotics and empowerment of executive cognitive processes: from typical development to special educational needs. *Form@re - Open Journal per La Formazione in Rete*, *19*(1), 60–77. https://doi.org/10.13128/formare-24782

Catlin, D. (2017). 29 Effective Ways You Can Use Robots in the Classroom. In Dimitris Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti (Eds.), *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 560.* (pp. 135–148). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9_10

Catlin, D., & Blamires, M. (2010). The Principles of Educational Robotic Applications (ERA). In *Proceedings of Constructionism Paris (2010)* (Issue August 2010, pp. 1–17).

Catlin, D., & Blamires, M. (2019). Designing Robots for Special Needs Education. *Technology, Knowledge and Learning*, *24*(2), 291–313. https://doi.org/10.1007/s10758-018-9378-8

Catlin, D., Kandlhofer, M., & Holmquist, S. (2018a). *EduRobot Taxonomy Classification of Educational Robots*. *April*, 2–4.

Catlin, D., Kandlhofer, M., & Holmquist, S. (2018b). EduRobot Taxonomy A Provisional Schema for Classifying Educational Robots. *International Conference on Robotics in Education 2018*, *April*. https://www.researchgate.net/publication/324786505

Catlin, D., Kandlhofer M., JJ, C., J., A.-F., Holmquist, S., & A.P., C. (2019). EduRobot Taxonomy.

In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 333–338). Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_15

Catlin, D., & Woollard, J. (2014). Educational Robots and Computational Thinking. *Proceedings of 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics & 5th International Conference Robotics in Education*, 144–151.

Caviola, S., Mammarella, I. C., Cornoldi, C., & Lucangeli, D. (2012). The involvement of working memory in children's exact and approximate mental addition. *Journal of Experimental Child Psychology*, *112*(2), 141–160. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.02.005

Cerosimo, R., & Pennazio, V. (2024). Il senso di autoefficacia dei docenti in formazione sul sostegno verso la robotica educativa: evidenze dal Robotics Interest Questionnaire. *Italian Journal of Special Education for Inclusion*, XII(1), 54–69. https://doi.org/10.7346/sipes

Chaidi, E., Kefalis, C., Papagerasimou, Y., & Drigas, A. (2021). Educational robotics in Primary Education. A case in Greece. *Research, Society and Development*, *10*(9), e17110916371. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.16371

Chalmers, C. (2018). Robotics and computational thinking in primary school. *International Journal of Child-Computer Interaction*, *17*, 93–100. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2018.06.005

Chalmers, C., & Nason, R. (2017). Systems Thinking Approach to Robotics Curriculum in Schools. In M. S. Khine (Ed.), *Robotics in STEM Education: Redesigning the Learning Experience* (pp. 33–57). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57786-9_2

Chambers, J. M., & Carbonaro, M. (2003). Designing, developing, and implementing a course on LEGO robotics for technology teacher education. *Journal of Technology and Teacher Education*, *11*(2), 209–241.

Chang, C.-W., Lee, J.-H., Chao, P.-Y., Wang, C.-Y., & Chen, G.-D. (2010). Exploring the Possibility of Using Humanoid Robots as Instructional Tools for Teaching a Second Language in Primary School. *Educational Technology & Society*, 13(2),13–24.

Chauhan, S. (2017). A meta-analysis of the impact of technology on learning effectiveness of elementary students. *Computers & Education*, 105, 14–30. https:// doi. org/ 10. 1016/j. compe du. 2016. 11. 005

Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. IEEE Access, 8, 75264–75278.

Cheng, Y.-W., Sun, P.-C., & Chen, N.-S. (2018). The essential applications of educational robot: Requirement analysis from the perspectives of experts, researchers and instructors. *Computers & Education*, *126*(1), 399–416. https://www.learntechlib.org/p/200625

Cheung, A. C. K., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational Research Review*, *9*, 88–113. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.01.001

Chevalier, M., Giang, C., El-Hamamsy, L., Bonnet, E., Papaspyros, V., Pellet, J. P., Audrin, C., Romero, M., Baumberger, B., & Mondada, F. (2022). The role of feedback and guidance as intervention methods to foster computational thinking in educational robotics learning activities for primary school. *Computers and Education*, *180*(January), 104431. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104431

Chevalier, M., Giang, C., Piatti, A., & Mondada, F. (2020). Fostering computational thinking through educational robotics: A model for creative computational problem solving. *International Journal of STEM Education*, 7, 1-18. https://doi.org/10.1186/ s40594-020-00238-z

Chevalier, M., Riedo, F., & Mondada, F. (2016). Pedagogical Uses of Thymio II: How Do

Teachers Perceive Educational Robots in Formal Education? *IEEE Robotics and Automation Magazine*, *23*(2), 16–23. https://doi.org/10.1109/MRA.2016.2535080

Chiazzese, G., Arrigo, M., Chifari, A., Lonati, V., & Tosto, C. (2019). Educational robotics in primary school: Measuring the development of computational thinking skills with the bebras tasks. *Informatics*, *6*(4). https://doi.org/10.3390/informatics6040043

Chin, K. Y., Hong, Z. W., & Chen, Y. L. (2014). Impact of using an educational robot-based learning system on students' motivation in elementary education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, *7*(4), 333–345. https://doi.org/10.1109/TLT.2014.2346756

Ching, Y. H., Yang, D., Wang, S., Baek, Y., Swanson, S., & Chittoori, B. (2019). Elementary School Student Development of STEM Attitudes and Perceived Learning in a STEM Integrated Robotics Curriculum. *TechTrends*, *63*(5), 590–601. https://doi.org/10.1007/s11528-019-00388-0

Ching, Y. H., & Hsu, Y. C. (2024). Educational Robotics for Developing Computational Thinking in Young Learners: A Systematic Review. *TechTrends*, 68(3), 423–434. https://doi.org/10.1007/s11528-023-00841-1

Christoforou, E. G., Avgousti, S., Masouras, P., & Panayiides, A. S. (2022). Children' s perspectives on robotics and the relevance to educational robotics competitions. In W. Lepuschitz, M. Merdan, G. Koppensteiner, R. Balogh, & D. Obdržálek (Eds.), *Robotics in Education. RiE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems* (pp. 1–8). Springer.

Christoforou, E. G., & Müller, A. (2016). R.U.R. Revisited: Perspectives and Reflections on Modern Robotics. *International Journal of Social Robotics*, *8*(2), 237–246. https://doi.org/10.1007/s12369-015-0327-6

Christopher, M. E., Keenan, J. M., Pennington, B., Defries, J. C., Wadsworth, S. J., & Olson, R. K. (2012). Predicting word reading and comprehension with executive function and speed measures across development: A latent variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(3), 470–488. https://doi.org/10.1037/a0027375.Predicting

Church, W., Ford, T., Perova, N., & Rogers, C. (2010). Physics with robotics using LEGO® MINDSTORMS® in high school education. *AAAI Spring Symposium - Technical Report*, *SS-10-03*, 47–49.

Cianchetti, C., Corona, S., Foscoliano, M., Contu, D., & Sannio-Fancello, G. (2007). Modified Wisconsin Card Sorting Test (MCST, MWCST): Normative data in children 4-13 years old, according to classical and new types of scoring. *The Clinical Neuropsychologist*, *21*(3), 456–478. https://doi.org/10.1080/13854040600629766

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

Çiftci, S., & Bildiren, A. (2020). The effect of coding courses on the cognitive abilities and problem-solving skills of preschool children. *Computer Science Education*, *30*(1), 3–21. https://doi.org/10.1080/08993408.2019.1696169

Clarke-Midura, J., Kozlowski, J. S., Shumway, J. F., & Lee, V. R. (2021). How young children engage in and shift between reference frames when playing with coding toys. *International Journal of Child-Computer Interaction*, *28*, 100250. https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100250

Cohen, J. R., Berkman, E. T., & Lieberman, M. D. (2012). *Ventrolateral PFC as a self-control muscle and how to use it without trying*. Frontal Lobe Funct.

Colás-Bravo, P., Rossi, P. G., de Pablos-Pons, J., Conde-Jiménez, J., & Villaciervos Moreno, P. (2019). Digital applications for inclusion. The european project DEPIT. *Revista de Comunicación de La SEECI*, *50*, 169–192.

https://doi.org/http://doi.org/10.15198/seeci.2019.50.169-192
Collie, R. J., Shapka, J. D., & Perry, N. E. (2012). School climate and social-emotional learning: Predicting teacher stress, job satisfaction, and efficacy. *Journal of Educational Psychology*, *104*, 1189–1204. https://doi.org/10.1037/a0029356.Social-emotional
Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: Frontal lobe function and human decision-making. *PLoS Biology*, *10*(3). https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001293
Committee on Industry Research and Energy. (2019). *2018/2088(INI) Report on a comprehensive European industrial policy on artificial intelligence and robotics*.
Conchinha, C. (2015). Robots & NEE: Learning by playing with robots in an inclusive school setting. *International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, 86–91. https://doi.org/https://doi.org/10.1109/SIIE.2015.7451654
Conchinha, C., Osório, P., & De Freitas, J. C. (2016). Playful learning: educational robotics applied to students with learning disabilities. *Proceedings of the 2015 International Symposium on Computers in Education*.
Consiglio dell'Unione Europea. (2018). *Raccomandazione del Consiglio del 22 maggio 2018 relativa alle competenze chiave per l'apprendimento permanente*. *189/01*, 1–13.
Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M., Hambrick, Z. D., Wilhelm, O., & Engle, R. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychon. Bull. Rev.*, *12*(5), 769–786. https://doi.org/10.1021/cen-v020n021.p1399
Cook, A. M., Adams, K., Volden, J., Harbottle, N., & Harbottle, C. (2011). Using Lego robots to estimate cognitive ability in children who have severe physical disabilities. Disability and Rehabilitation. *Assistive Technology*, *6*(4), 338–346.
Cornoldi, C., & De Beni, R. (2015). *Gruppo MT: Imparare a studiare. Strategie, stili cognitivi, metacognizione e atteggiamenti nello studio*. Erickson.
Cornoldi, C., Lucangeli, D., & Perini, N. (2020). *AC-MT 6-11 anni. Prove per la scuola primaria.* Erickson.
Cornoldi, Cesare, Venneri, A., Marconato, F., Molin, A., & Montinari, C. (2003). A rapid screening measure for the identification of visuospatial learning disability in schools. *Journal of Learning Disabilities*, *36*(4), 299–306. https://doi.org/10.1177/00222194030360040201
Corrie, C. U., Coppens, K. M., & Borghans, L. (2019). Measurement of Executive Functioning Using a Playful Robot in Kindergarten. *Computers in the Schools*, *36*(4), 255–273. https://doi.org/10.1080/07380569.2019.1677436
Corsi, P. M. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain*. (Unpublished doctoral dissertation). McGill University
Cortés Pascual, A., Moyano Muñoz, N., & Robres Quílez, A. (2019). The relationship between executive functions and academic performance in primary education: Review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, *10*(JULY). https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01582
Cortiana, P., & Rigotto, C. (2019). Teaching literature through educational robotics: an experience in the primary school. *Form@re - Open Journal per La Formazione in Rete*, *19*(1), 91–105. https://doi.org/10.13128/formare-24635
Costescu, C. A., Vanderborght, B., & David, D. O. (2015). Reversal Learning Task in Children with Autism Spectrum Disorder: A Robot-Based Approach. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *45*(11), 3715–3725. https://doi.org/10.1007/s10803-014-2319-z
Cottini, L. (2011). *L'autismo a scuola: quattro parole chiave per l'integrazione.* Carocci Editore.
Cottini, L. (2018). *Didattica speciale e inclusione scolastica*. Carocci.
Cottini, L. (ed.). (2019). *Universal Design for Learning e curricolo inclusivo.* Firenze: Giunti Edu.
Cragg, L., & Nation, K. (2008). Go or no-go? Developmental improvements in the efficiency of

response inhibition in mid-childhood. *Developmental Science*, *11*(6), 819–827. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00730.x

Cragg, L., & Gilmore, C. (2014). Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends in Neuroscience and Education*, 3(2), 63–68. https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.12.001

Cragg, L., Keeble, S., Richardson, S., Roome, H. E., & Gilmore, C. (2017). Direct and indirect influences of executive functions on mathematics achievement. *Cognition*, 162, 12–26. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.01.014

Craig, F., Margari, F., Legrottaglie, A. R., Palumbi, R., de Giambattista, C., & Margari, L. (2016). A review of executive function deficits in autism spectrum disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, *12*, 1191–1202. https://doi.org/10.2147/NDT.S104620

CSTA, & ISTE. (2011). *Operational definition of computational thinking*. https://id.iste.org/docs/ct-documents/computational-thinking-operational-definition-flyer.pdf?sfvrsn=2

Cuellar, F., Penaloza, C., Garret, P., Olivo, D., Mejia, M., Valdez, N., & Mija, A. (2014). Robotics education initiative for analyzing learning and child-parent interaction. *Frontiers in Education Conference (FIE), 2014 IEEE*, 1–6.

Cutumisu, M., Adams, C., & Lu, C. (2019). A Scoping Review of Empirical Research on Recent Computational Thinking Assessments. *Journal of Science Education and Technology*, *28*(6), 651–676. https://doi.org/10.1007/s10956-019-09799-3

D'Alessio, S., & Watkins, A. (2009). International comparisons of Inclusive Policy and Practice: Are we talking about the same thing? *Research in Comparative and International Education*, *4*(3), 233–249. https://doi.org/10.2304/rcie.2009.4.3.233

D'Alonzo, L., Bocci, F., & Pinnelli, S. (Eds.). (2015). *Didattica speciale per l'inclusione*. La Scuola.

Daher, W. (2022). Students' Motivation to Learn Mathematics in the Robotics Environment. *Computers in the Schools*, *0*(0), 1–22. https://doi.org/10.1080/07380569.2022.2071227

Dalton, B., Morocco, C., Tivnan, T., & Mead, P. (1997). *Supported inquiry science: Teaching for conceptual change in urban and suburban classrooms*. Journal of Learning Disabilities, 30, 670–684.

Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19(4), 450-466.

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. Innovations, In L. Daniela (ed.), *Innovations, technologies and research in education* (pp. 140-158). Newcastle upon Tyne: Cambridge Scholars Publishing.

Darling-Hammond, L., Hyler, M. E., & Gardner, M. (2017). *Effective teacher professional development.* Learning policy institute.

Datteri, E., Bozzi, G., & Zecca, L. (2015). Il "gioco dello scienziato" per l'apprendimento del metodo scientifico nella scuola primaria. *TD Tecnologie Didattiche*, *23*(3), 172–175.

Datteri, E., & Zecca, L. (2017). Theoretical vocabularies and styles of explanation of robot behaviours in children. *Research on Education and Media*, *9*(1), 3–9. https://doi.org/10.1515/rem-2017-0002

Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2037–2078. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006

De Carolis, B., Palestra, G., Della Penna, C., Cianciotta, M., & Cervelione, A. (2019). Social

robots supporting the inclusion of unaccompanied migrant children: Teaching the meaning of culture-related gestures. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, *15*(2), 43–57. https://doi.org/10.20368/1971-8829/1636

De la Hoz, A., Melo, L., & Cubero, J. (2024). Educational robotics for science and mathematics teaching: Analysis of pre-service teachers' perceptions and self-confidence. *Heliyon*, 10(21).

De Souza, T. L., & Elisiario, L. S. (2019). Educational robotics teaching with Arduino and 3D print based on STEM projects. *In 2019 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2019 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2019 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, 407–410.

DECS. (2022). *Piano Di Studio Della Scuola Dell' Obbligo Ticinese*. https://pianodistudio.edu.ti.ch/formazione-generale-e-trasversale/tecnologie-e-media/

Demertzi, E., Voukelatos, N., Papagerasimou, Y., & Drigas, A. (2018). Online learning facilities to support coding and robotics courses for youth. *International Journal of Engineering Pedagogy*, *8*(3), 69–80. https://doi.org/10.3991/ijep.v8i3.8044

Dewey, j. (1938). *How we think.* Prometheus Books.

DeWitt, J., Osborne, J., Archer, L., Willis, J., Dillon, B., & Wong, B. (2013). Young Children's Aspirations in Science: The unequivocal, the uncertain and the unthinkable. *International Journal of Science Education*, *35*(6), 1037–1063. https://doi.org/10.1080/09500693.2011.608197

Di Battista, S., Pivetti, M., Moro, M., & Menegatti, E. (2020). Teachers' opinions towards educational robotics for special needs students: An exploratory italian study. *Robotics*, *9*(3), 1–16. https://doi.org/10.3390/ROBOTICS9030072

Di Lieto, M. C., Inguaggiato, E., Castro, E., Cecchi, F., Cioni, G., Dell'Omo, M., Laschi, C., Pecini, C., Santerini, G., Sgandurra, G., & Dario, P. (2017). Educational Robotics intervention on Executive Functions in preschool children: A pilot study. *Computers in Human Behavior*, *71*, 16–23. https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.018

Di Lieto, M. C., Pecini, C., Castro, E., Inguaggiato, E., Cecchi, F., Dario, P., Cioni, G., & Sgandurra, G. (2020a). Empowering Executive Functions in 5- and 6-Year-Old Typically Developing Children Through Educational Robotics: An RCT Study. *Frontiers in Psychology*, *10*(February), 1–10. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.03084

Di Lieto, M. chiara, Castro, E., Pecini, C., Inguaggiato, E., Cecchi, F., Dario, P., Cioni, G., & Sgandurra, G. (2020b). Improving Executive Functions at School in Children With Special Needs by Educational Robotics. *Frontiers in Psychology*. https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02813

Di Tore, S., Aiello, P., Di Tore, P. A., & Sibilio, M. (2012). Exergames as Teaching Tools. *Academic Journal of Interdisciplinary studies*, *1*(2), 165–170. https://doi.org/10.5901/ajis.2012.v1n2p165

Di Tore, S., Todino, M. D., & Sibilio, M. (2019). Disuffo : Design, prototyping and development of an open-source educational robot. *Form@re - Open Journal per La Formazione in Rete*, *19*(1), 106–116. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13128/formare-24446

Di Trani, M., Casini, M.P., Capuzzo, F., Gentile, S., Bianco, G., Menghini, D., Vicari, S. (2011) Executive and intellectual functions in attention-deficit/hyperactivity disorder with and without comorbidity. *Brain Dev.* 33(6):462-9. doi: 10.1016/j.braindev.2010.06.002.

Diagoa, P. D., González-Calerob, J., & Yáez, D. (2022). Exploring the development of mental rotation and computational skills in elementary students through educational robotics. *International Journal of Child-Computer Interaction*(2), 100388. https:// doi. org/ 10. 1016/j. ijcci. 2021. 100388

Diamond, A. (1990). Developmental time course in human infants and infant monkeys, and the neural bases of, inhibitory control in reaching. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *608*, 637–676. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1990.tb48913.x

Diamond, A. (1991). Neuropsychological insights into the meaning of object concept development. In R. Carey & Gelman (Eds.), *The Epigenesis of Mind: Essays on Biology and Cognition*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135–168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science (New York, N.Y.)*, *333*(6045), 959–964. https://doi.org/10.1126/science.1204529

Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *18*, 34–48. https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005

Diamond, A., & Ling, D. S. (2020). Review of the Evidence on, and Fundamental Questions About, Efforts to Improve Executive. In J. M. Novick, M. F. Bunting, M. R. Dougherty, & R. W. Engle (Eds.), *Cognitive and Working Memory Training: Perspectives from Psychology, Neuroscience, and Human Development* (Issue March, pp. 143–431). oxford scholarship online. https://doi.org/10.1093/oso/9780199974467.003.0008

Dorotea, N., Piedade, J. M. N., & Pedro, A. (2021). Mapping K-12 Computer Science Teacher's Interest, Self-Confidence and Knowledge about the Use of Educational Robotics to Teach. *Education Sciences*. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ educsci11080443 Academic

Drakatos N., & Christou A. (2023). The impact of robotics on development, of hot and cold executive functions, and their role in improving them in special education. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, *9*(2), 070–080. https://doi.org/10.30574/wjaets.2023.9.2.0198

Drakatos, N., & Drigas, A. (2024). The impact of STEAM education using robotics on the executive function of typical and ADHD students along with developmental exploration. *Brazilian Journal of Science*, *3*(2), 113–122. https://doi.org/10.14295/bjs.v3i2.467

Drigas, A. S., & Koukianakis, L. (2004). A Modular environment for e-learning and e-psychology applications. *Science*, *3*(6), 2062–2067.

Drigas, A. S., & Koukianakis, L. G. (2006). An open distance learning e-system to support SMEs e-enterprising. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, *3*(3), 526–531.

Duckworth, A. L., & Seligman, M. E. P. (2005). Self-Discipline Outdoes IQ in Predicting Academic Performance of Adolescents. *Psychological Science*, *16*(12), 939–944. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01641.x

Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Pagani, L. S., Feinstein, L., Engel, M., Brooks-Gunn, J., Sexton, H., Duckworth, K., & Japel, C. (2007). School Readiness and Later Achievement. *Developmental Psychology*, *43*(6), 1428–1446. https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.6.1428

Duncan-Howell, J. (2010). Teachers making connections: Online communities as a source of professional learning. *British Journal of Educational Technology*, 41(2), 324–340. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.00953.x

Edyburn, D. L. (2010). Would you recognize Universal Design for Learning if you saw it? Ten propositions for new directions for the second decade of UDL. *Learning Disability Quarterly*, 33, 33-41.

Eguchi, A. (2013). Educational robotics theories and practice: Tips for how to do it right. In M.

Khosrow-Pour (Ed.), *Robotics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 193–223). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4607-0

Eguchi, A. (2014a). Educational Robotics for Promoting 21st century skills. *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems*, *8*(1), 5–11. https://doi.org/10.14313/JAMRIS

Eguchi, A. (2014b). Robotics as a Learning Tool for Educational Transformation. *Human-Computer Interaction*, 27–34. https://doi.org/10.4018/978-1-4666-8789-9.ch033

Emslander, V., & Scherer, R. (2022). The Relation Between Executive Functions and Math Intelligence in Preschool Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Psychological Bulletin*, 148(5–6), 337–369. https://doi.org/10.1037/bul0000369

Erol, O. (2020). How do Students' Attitudes Towards Programming and Self-Efficacy in Programming Change in the Robotic Programming Process? *International Journal of Progressive Education*, *16*(4), 13–26. https://doi.org/10.29329/ijpe.2020.268.2

Ertmer, P. A. (2005). Teacher pedagogical beliefs: The final frontier in our quest for technology integration? *Educational Technology Research and Development*, *53*(4), 25–39.

Fabbri, L., Bracci, F., & Romano, A. (2021). Apprendimento trasformativo, ricerca collaborativa e approccio practice-based. *Annali Online Della Didattica e Della Formazione Docente*, *13*(21), 68–88.

Fancello, G. S., Vio, C., & Cianchetti, C. (2013). *TOL. Torre di Londra. Test di valutazione delle funzioni esecutive (pianificazione, problem solving).* Erickson.

Fasoli, M. (2020). Contro lo strumentalismo tecnologico. Per una teoria analitica della prescrittività degli artefatti. *Sistemi Intelligenti*, 32(2), 223–241. https://doi.org/10.1422/96327

Fastame, M. C., & Penna, M. P. (2013). Il questionario SVS: uno strumento affidabile per lo screening precoce delle basse abilità visuo-spaziali nelle scuole rurali sarde. *Psicologia Dell'educazione, Eriskson*, *7*(3), 337–354.

Feng, H. C., Lin, C. H., & Liu, E. Z. F. (2011). Parents' perceptions of educational programmable bricks for kids. *British Journal of Educational Technology*, *42*(2), 30–33. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2010.01158.x

Ferguson, H. J., Brunsdon, V. E. A., & Bradford, E. E. F. (2021). The developmental trajectories of executive function from adolescence to old age. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–17. https://doi.org/10.1038/s41598-020-80866-1

Fernández-Llamas, C., Conde, M. A., Rodríguez-Lera, F. J., Rodríguez-Sedano, F. J., & García, F. (2018). May I teach you? Students' behavior when lectured by robotic vs. human teachers. *Computers in Human Behavior*, *80*, 460–469. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.09.028

Ferrara, R., & Mammarella, I. C. (2013). Il Questionario SVS Bambino. *Psicologia Clinica Dello Sviluppo*, *17*(2), 359–368. https://doi.org/10.1449/74830

Ferrarelli, P., Villa, W., Attolini, M., Cesareni, D., Micale, F., Sansone, N., Pantaleone, L. C., & Iocchi, L. (2019). Improving Students' Concepts About Newtonian Mechanics Using Mobile Robots. In *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 829). https://doi.org/10.1007/978-3-319-97085-1_12

Ferrari, L. ., Macauda, A. ., Soriani, A., & Russo, V. (2020). Educational robotics and artificial intelligence education what priorities for schools. *Form@ Re-Open Journal per La Formazione in Rete*, *20*(3), 68–85. https://oaj.fupress.net/index.php/formare/article/download/10038/9051

Ferrer, E., Shaywitz, B. A., Holahan, J. M., Marchione, K., & Shaywitz, S. E. (2010). Uncoupling of reading and IQ over time: empirical evidence for a definition of dyslexia. *Psychological*

Science, *21*(1), 93–101. https://doi.org/10.1177/0956797609354084
Fiore, F., & Morrone, G. (2019). *Esercizi di pensiero. Fare filosofia con gli EAS*. Scholé.
Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research. In *Contemporary Sociology* (Vol. 6, Issue 2). Addison-Wesley. https://doi.org/10.2307/2065853
Florian, L. (2014). What counts as evidence of inclusive education? *European Journal of Special Needs Education*, *29*(3), 286–294. https://doi.org/10.1080/08856257.2014.933551
Floridi, L. (2017). *La quarta rivoluzione. Come l'infosfera sta trasformando il mondo*. Raffaello Cortina.
Fondazione Mondo Digitale. (2014). *Robotica educatica accordo di rete nazionale*.
Fontani, S. (2019). La Robotica Sociale come tecnologia assistiva evidence based per lo sviluppo delle competenze comunicative negli allievi con Disturbi dello Spettro Autistico The Social Robotic as evidence based assistive technology for the development of the communicativ. *Formazione & Insegnamento*, *17*(3), 134–147.
Ford, C. J., Mohr-Schroeder, M. J., & Usher, E. L. (2023). I Fail; Therefore, I Can: Failure Mindset and Robotics Self-Efficacy in Early Adolescence. *Education Sciences*, 13(10). https://doi.org/10.3390/educsci13101038
Fridin, M., & Belokopytov, M. (2014). Acceptance of socially assistive humanoid robot by preschool and elementary school teachers. *Computers in Human Behavior*, *33*, 23–31. https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.12.016
Fridin, M., & Yaakobi, Y. (2011). Educational robot for children with ADHD/ADD. *International Conference on Computational Vision and Robotics: Architectural Design*, *20*, 10–18. http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.466.3300&rep=rep1&type=pdf
Friedman, N., Miyake, A., Corley, R., Young, S., Defries, J., & Hewitt, J. (2006). Not All Executive Functions Are Related to Intelligence. *Psychological Science*, *17*, 172–179. https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01681.x
Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology. General*, *133*(1), 101–135. https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101
Fuhs, M. W., Nesbitt, K. T., Farran, D. C., & Dong, N. (2014). Longitudinal associations between executive functioning and academic skills across content areas. *Developmental Psychology*, *50*(6), 1698–1709. https://doi.org/10.1037/a0036633
Fulton, K., Doerr, H., & Britton, T. (2010). STEM Teachers in Professional Learning Communities. In *Program Manager* (Issue June).
Gabriele, L., Bertacchini, F., Bilotta, E., & Pantano, P. (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
Gan, G. S. (2004). *A research on the design and application of educational robots.* Central China Normal University.
Gäng-Pacifico, D., & Rusconi, L. (2024). Translation and Transcultural Adaptation of the Universal Design for Learning Observation Measurement Tool (UDL-OMT). *Education Sciences*, 14(11), 1–16. https://doi.org/10.3390/educsci14111144
García-Martínez, I., Montenegro-Rueda, M., Molina-Fernández, E., & Fernández-Batanero, J. M. (2021). Mapping teacher collaboration for school success. *School Effectiveness and School Improvement*, 32(4), 631–649. https:// doi. org/ 10. 1080/ 09243 453. 2021. 19257 00
Gardner, H. (2006). *Multiple intelligences: New horizons.* New York: Basic Books.

Garneli, V., Giannakos, M. N., & Chorianopoulos, K. (2015). Computing education in K-12 schools: A review of the literature. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, *2015-April*(March), 543–551. https://doi.org/10.1109/EDUCON.2015.7096023

Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, *134*(1), 31–60. https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31

Gasparini, S. (2019). Social robots and L2 teaching for children: a preliminary study on the embodiment of gestures Robot sociali e insegnamento di L2 ai bambini: uno studio preliminare sull'embodiment della gestualità. *Form@re - Open Journal per La Formazione*, *19*(1), 47–59. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13128/formare-24600

Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, *18*, 1–16. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:2654466

Gauthier, L., Dehaut, F., Joanette, Y., *et al.* (1989). The bells test: a quantitative and qualitative test for visual neglect. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 11(2), 49–54.

Gavrilas, L., Plakitsi, K., and Kotsis, K.T., 2020. Perceptions and attitudes of preschool and primary education teachers towards educational robotics and STEM. In: K. Plakitsi, ed. *Proceedings of the 11th panhellenic conference, physical sciences in preschool education: mapping the New twenty years of research and teaching practice.* Ioannina, Greece: University of Ioannina, 679–701.

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). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1286/1/012044

Giang, C., Piatti, A., & Mondada, F. (2019). Heuristics for the development and evaluation of educational robotics systems. *IEEE Transactions on Education*, 62(4), 278–287. https://doi.org/10.1109/TE.2019.2912351

Giang, C., Piatti, A., & Mondada, F. (2022). Aligning the design of educational robotics tools with classroom activities. In Designing, constructing, and programming robots for learning (pp. 1–21). *IGI Global*. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7443-0.ch001

Giang, C., Addimando, L., Botturi, L., Negrini, L., Giusti, A., & Piatti, A. (2023). Have You Ever Seen a Robot? An Analysis of Children's Drawings Between Technology and Science Fiction. *Journal for STEM Education Research*, *0123456789*. https://doi.org/10.1007/s41979-023-00098-6

Giannandrea, L., Gratani, F., & Renieri, A. (2021). Teacher training on Educational Robotics: a systematic review. *International Journal of Social Science and Technology*, *6*(4), 36–58. http://www.ijsstr.com/data/frontImages/4.November-21.pdf

Giannandrea, L., & Rossi, P. G. (2017). *Technologies and trust*. https://openlink.mju.ac.kr/link.n2s?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsoap&AN=edsoap.645211&amp%0Alang=ko&site=eds-live&scope=site

Gilmore, C., Keeble, S., Richardson, S., & Cragg, L. (2015). The role of cognitive inhibition in different components of arithmetic. *ZDM - Mathematics Education*, *47*(5), 771–782. https://doi.org/10.1007/s11858-014-0659-y

Gioia, G.A., Isquith, P.K. e Guy, S.C. (2001). Assessment of executive functions in children with neurological impairment. In R.J. Simeonsson e S. Rosenthal (a cura di), *Clinical assessment of children's functioning* (pp. 317-356). New York, NY: Guilford.

González, Y. A. C., & Muñoz-Repiso, A. G. V. (2017). Development of computational thinking

skills and collaborative learning in initial education students through educational activities supported by ICT resources and programmable educational robots. *ACM International Conference Proceeding Series, Part F1322*. https://doi.org/10.1145/3144826.3145450

Goodrich, M. A., & Schultz, A. C. (2007). Human-robot interaction: A survey. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, *1*(3), 203–275. https://doi.org/10.1561/1100000005

Görgen, R., Huemer, S., Schulte-Körne, G., & Moll, K. (2020). Evaluation of a digital game-based reading training for German children with reading disorder. *Computers and Education*, *150*(January). https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103834

Gramigna, A. (2018). RoboticaMente : metacognizione e innovazione nella scuola dei talenti RoboticaAlly : metacognition and innovation in talent 's school. *Formazione & Insegnamento*, *XVI*(2), 291–304. https://doi.org/107346/-fei-XVI-02-18_23

Gratani, F., & Giannandrea, L. (2022). Towards 2030. Enhancing 21st century skills through educational robotics. *Frontiers in Education*, *7*(July), 1–7. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.955285

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, & M. Moro (Eds.) Education in & with Robotics to Foster 21st-Century Skills. EDUROBOTICS 2021. *Studies in Computational Intelligence*, vol 982 (pp. 3-14). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77022-8_1

Grover, S. (2015). 'Systems of assessments' for deeper learning of computational thinking in K-12. In *Proceedings of the 2015 Annual Meeting of the American Educational Research Association* (AERA '15), (pp. 1–9).

Grimaldi, R. (2015). *A scuola con i robot: innovazione didattica, sviluppo delle competenze e inclusione sociale*. Il Mulino.

Gross, J. J., & Thompson, R. A. (2007). Emotion regulation: Conceptual foundations. In J. J. Gross (Ed.), *Handbook of emotion regulation* (pp. 3–24). Guilford Press.

Guasti, L., & Rosa, A. (2017). *Maker@scuola*. Assopiù Editore.

Gueorguiev, I., Todorova, C., Varbanov, P., Sharkov, P., Sharkov, G., Girvan, C., et al. (2018).Educational robotics for communication, collaboration and digital fluency. In W. Lepuschitz, M.Merdan, G. Koppensteiner, R. Balogh, & D. Obdržálek (Eds.) *RiE 2017*, (pp. 113-125). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62875-2_10

Guggemos, J., Seufert, S., & Sonderegger, S. (2020). Humanoid robots in higher education: Evaluating the acceptance of Pepper in the context of an academic writing course using the UTAUT. *Br. J. Educ. Technol.*, *51*, 1864–1883. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:221766701

Güleryüz, H. (2022). The effect of robotic coding (Mblock -Arduino) activities on students ' self- efficacy and attitudes the effect of robotic coding (Mblock - Arduino) activities on students ' self-efficacy and attitudes. *Acta Scientific Computer Sciences*, 4 (8), 2–9.

Gürkez, Ş. (2021). *Ortaokul Öğrencilerinin Robotik Kodlama Eğitiminin Üst Biliş Beceri Farkındalığı ve Öğrenmeye Yönelik Sorumlulukları Üzerine Etkisi: Abilix Krypton 7 Örneği*. Necmettin Erbakan University.

Guskey, T. R. (2002). Professional development and teacher change. *Teachers and Teaching*, 8(3), 381–391. https://doi.org/10.1080/135406002100000512

Hamilton, M., Clarke-Midura, J., Shumway, J. F., & Lee, V. R. (2020). An Emerging Technology Report on Computational Toys in Early Childhood. *Technology, Knowledge and Learning*, *25*(1), 213–224. https://doi.org/10.1007/s10758-019-09423-8

Han, J., & Kim, D. (2009). r-Learning services for elementary school students with a teaching

assistant robot. *2009 4th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, 255–256. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:655072

Harel, I., & Papert, S. (1991). Situating Constructionism. *Constructionism*, 1–16.

Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working Memory, Comprehension, and Aging: A Review and a New View. *Psychology of Learning and Motivation - Advances in Research and Theory*, *22*, 193–225. https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60041-9

Hattie, J. (2012). Visable learning for teachers maximizing impact on learning. *Educational Psychology in Practice*, *28*(2), 215–216. https://doi.org/10.1080/02667363.2012.693677

Hattie, J. (2015). The applicability of Visible Learning to higher education. *Scholarship of Teaching and Learning in Psychology*, *1*(1), 79–91. https://doi.org/10.1037/stl0000021

Hattie, J. (2023). *Visible learning: The sequel: A synthesis of over 2,100 meta-analyses relating to achievement*. New York: Routledge.

Hauser, U., Stern, E., & Komm, D. (2025). Improving Spatial Abilities. Educational Robotics versus Turtle Geometry. *ICER 2025* - August 03–06, 2025, Charlottesville, VA, USA, 1, 256–270. https://doi.org/10.1145/3702652.3744232

Heaton, R. K. (1981). *Wisconsin Card Sorting Test manual.* Odessa, FL: Psychological Assessment Resources, Inc.

Heidari, R., Alipour, S., Meghdari, A., & Yailagh, M. S. (2018). The impact of social robots intervention on the executive functions in children with autism disorder. *URMIA MED*, *30*(9), 744–752.

Hepp, P., Merino, M. E., Barriga, M. V., & Huircapán, A. (2013). Tecnología robótica en contextos escolares vulnerables con estudiantes de la etnia Mapuche. *Estudios Pedagógicos*, 39(Esp.), 75–84. https://doi.org/10.4067/S0718-07052013000300006

Hew, K. F., & Brush, T. (2007). Integrating technology into K-12 teaching and learning: Current knowledge gaps and recommendations for future research. *Educational Technology Research and Development*, *55*(3), 223–252. https://doi.org/10.1007/s11423-006-9022-5

Ho, H. R., Hubbard, E. M., & Mutlu, B. (2024). " It's Not a Replacement:" Enabling Parent-Robot Collaboration to Support In-Home Learning Experiences of Young Children. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-18).

Holmes-Bernstein, J.H. e Waber, D.P. (1990). Developmental neuropsychological assessment: The systemic approach. In AA Boulton, GB Baker e M. Hiscock (a cura di), *Neuromethods: Neuropsychology Clifton*, NJ: Humana.

Holstein, K., & Aleven, V. (2022). Designing for human–AI complementarity in K-12 education. *AI Magazine*, 43(2), 239–248. https://doi.org/10.1002/aaai.12058

Hodges, C. B. (2018). Self-efficacy in instructional technology contexts. In *Self-Efficacy in Instructional Technology Contexts*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99858-9

Hong, J. C., Yu, K. C., & Chen, M. Y. (2011). Collaborative learning in technological project design. *International Journal of Technology and Design Education*, *21*(3), 335–347. https://doi.org/10.1007/s10798-010-9123-7

Hong, Z. W., Huang, Y. M., Hsu, M., & Shen, W. W. (2016). Authoring robot-assisted instructional materials for improving learning performance and motivation in EFL classrooms. *Educational Technology and Society*, *19*(1), 337–349.

Hong, L. (2024). The impact of educational robots on students' computational thinking: A meta-analysis of K-12. *Education and Information Technologies*, 29(11), 13813–13838. https://doi.org/10.1007/s10639-023-12415-y

Hoppe, H. U., & Werneburg, S. (2019). Computational Thinking - More than a variant of scientific Inquiry! In S.-C. Kong & H. Abelson (Eds.), *Computational Thinking Education* (Issue May). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6528-7

Houssaye, J. (1998). *Le triangle pédagogique. Théorie et pratiques de l'éducation scolaire.* Peter Lang.

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. *J. Educ. Technol. Soc.*, *9*, 182–194. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:17381845

Hynes, M. M., & Dos Santos, A. (2007). Effective Teacher Professional Development: Middle-School Engineering Content. *Internatioal Journal of Engineering Education*, *February*.

Ianes, D., & Augello, G. (2023). *Gli inclusio scettici: Gli argomenti di chi non crede nella scuola inclusiva e le proposte di chi si sbatte tutti i giorni per realizzarla*. Edizioni Centro Studi Erickson.

Ianes, D., Cramerotti, S., & Scapin, C. (2019). *Profilo di funzionamento su base ICF-CY e Piano Educativo Individualizzato (PEI)*. Edizioni Centro Studi Erickson.

Ianes, D., & Macchia, V. (2008). *La didattica per i Bisogni Educativi Speciali*. Erikson.

Immordino- Yang, M.H., & Damasio, A. (2007). We feel, therefore we learn: the relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain and Education*, Vol.1, n.1, 3-10

International Test Commission. (2017). *ITC Guidelines for Translating and Adapting Tests* (Version 2.4). Available online: www.InTestCom.org

International Federation of Robotics. (2022). *World Robotics: Industrial Robots 2022*. 52. https://ifr.org/downloads/press2018/2022_WR_extended_version.pdf

International Society for Technology in Education. (2017). *ISTE Standard for Educators*. https://www.researchgate.net/publication/269107473_What_is_governance/link/548173090cf22525dcb61443/download%0Ahttp://www.econ.upf.edu/~reynal/Civil wars_12December2010.pdf%0Ahttps://thinkasia.org/handle/11540/8282%0Ahttps://www.jstor.org/stable/41857625

Ioannou, I., & Angeli, C. (2016). A Framework and an Instructional Design Model for the Development of Students ' Computational and Algorithmic Thinking. *Mediterranean Conference on Information Systems* (MCIS), 1–8. http://aisel.aisnet.org/mcis2016

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

Jaipal-Jamani, K., & Angeli, C. (2017). Effect of Robotics on Elementary Preservice Teachers' Self-Efficacy, Science Learning, and Computational Thinking. *Journal of Science Education and Technology*, *26*(2), 175–192. https://doi.org/10.1007/s10956-016-9663-z

Jin, Y., Sun, J., Ma, H., & Wang, X. (2021). The impact of different types of scaffolding in project-based learning on girls' computational thinking skills and self-efficacy. In *Proceedings of the 2021 Tenth International Conference of Educational Innovation through Technology* (pp. 362–366). IEEE. https://doi.org/10.1109/EITT53287.2021.00077

Johnson, J. (2003). Children, robotics, and education. *Artificial Life and Robotics*, *7*(1–2), 16–21. https://doi.org/10.1007/bf02480880

Jonassen, D. H. (1996). *Computers in the classroom: Mindtools for critical thinking*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

Jonassen, D. H. (2004). Learning to solve problems: an instructional design guide. Pfeiffer.

Jonassen, D. H., & Hung, W. (2006). Learning to troubleshoot: A new theory-based design architecture. *Educational Psychology Review*, 18(1), 77–114.

Jones, L. B., Rothbart, M. K., & Posner, M. I. (2003). Development of executive attention in preschool children. *Developmental Science*, *6*(5), 498–504. https://doi.org/10.1111/1467-7687.00307

Julia, C., & Antoli, J. O. (2016). Spatial ability learning through educational robotics. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(2), 185–203. https://doi.org/10.1007/s10798-015-9307-2

Jung, S. E., & Won, E. S. (2018). Systematic review of research trends in robotics education for young children. *Sustainability* (Switzerland), 10(4), 1–24. https://doi.org/10.3390/su10040905

Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: A review of our current understanding. *Neuropsychology Review*, *17*(3), 213–233. https://doi.org/10.1007/s11065-007-9040-z

Kahn, P. H., Jr., K., Ishiguro, H., Freier, N. G., Severson, R. L., Gill, B. T., Ruckert, J. H., & Shen, S. (2012). Robovie, you'll have to go into the closet now": Children's social and moral relationships with a humanoid robot. *Developmental Psychology*, *48*(2), 303–314. https://doi.org/https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0027033

Kakavas, P., & Ugolini F.C. (2019). Computational thinking in primary education: a systematic literature review. *REM*, 11(2), 64-94. https://doi.org/10.2478/rem-2019-0023

Kaloti-Hallak, F. (2014). The effect of robotics activities on students' learning and attitudes. *ICER 2014 - Proceedings of the 10th Annual International Conference on International Computing Education Research*, *October*, 153–154. https://doi.org/10.1145/2632320.2632328

Kamstrupp, A. K. (2016). The wow-effect in science teacher education. *Cultural Studies of Science Education*, *11*(4), 879–897. https://doi.org/10.1007/s11422-015-9684-6

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: an individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(4), 637–671. https://doi.org/10.3758/bf03196323

Kapa, L. L., & Plante, E. (2015). Executive function in SLI: Recent advances and future directions. *Current Developmental Disorders Reports*, 2(3), 245–252.

Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., Rast, P., Hofer, S. M., Iverson, G. L., & Garcia-Barrera, M. A. (2018). The unity and diversity of executive functions: A systematic review and re-analysis of latent variable studies. *Psychological Bulletin*, *144*(11), 1147–1185. https://doi.org/10.1037/bul0000160

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

Kazakoff, E. R., Sullivan, A., & Bers, M. U. (2013). The Effect of a Classroom-Based Intensive Robotics and Programming Workshop on Sequencing Ability in Early Childhood. *Early Childhood Education Journal*, *41*(4), 245–255. https://doi.org/10.1007/s10643-012-0554-5

Kennedy, J., S. Lemaignan, S., & Belpaeme, T. (2016). The cautious attitude of teachers towards social robots in schools. *Robots 4 Learning Workshop at IEEE RO-MAN 2016*, *August*.

Khanlari, A. (2014). *Teachers' perceptions of using robotics in Primary / Elementary Schools in Newfoundland and Labrador*. Memorial University of Newfoundland.

Khanlari, A. (2016). Teachers' perceptions of the benefits and the challenges of integrating educational robots into primary/elementary curricula. *European Journal of Engineering Education*, *41*(3), 320–330. https://doi.org/10.1080/03043797.2015.1056106

Khanlari, A. (2019). The Use of Robotics for STEM Education in Primary Schools: Teachers' perceptions. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics*. Springer. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5

Kilpatrick, W.H. (1918). *The Project Method: The Use of the Purposeful Act in the Educative Process.* Teachers College, Columbia University.

Kim, K., Choi, H., & Baek, J. (2014). A Study on the Teachers' Perception of School Curriculum Implementation about Robot-based Education in Korea. In *Advanced Science and Technology Letters* (Vol. 59, Issue Education, pp. 105–108). https://doi.org/10.14257/astl.2014.59.24

Kim, S.-W., & Lee, Y. (2015). A Survey on Elementary School Teachers' Attitude toward Robot. *Proceedings of E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2015*, 1802–1807. https://www.learntechlib.org/p/152228

Kim, Y., Marx, S., Pham, H. V., & Nguyen, T. (2021). Designing for robot-mediated interaction among culturally and linguistically diverse children. *Educational Technology Research and Development*, 69(6), 3233–3254. https://doi.org/10.1007/s11423-021-10051-2

Kinsella, W. (2018). Organising inclusive schools. *International Journal of Inclusive Education*, *24*(12), 1–17. https://doi.org/10.1080/13603116.2018.1516820

Klassen, R. M., Tze, V. M. C., Betts, S. M., & Gordon, K. A. (2011). Teacher efficacy research 1998–2009: Signs of progress or unfulfilled promise? *Educational Psychology Review*, 23(1), 21–43. https:// doi. org/ 10. 1007/ s10648- 010- 9141-8

Korkmaz, O. Çakır, R., & Özden, M.Y. (2015). Computational thinking levels scale (CTLS) adaptation for secondary school level. *Gazi Journal of Education Sciences*, 1(2), 143–162. http://dx.doi.org/10.17275/per.19.2.6.1

Korkmaz, Ö. (2016). The Effect of Lego Mindstrom Eve 3 Based Design Activities on Students' Attitudes towards Learning Computer Programming, Self-efficacy Beliefs and Levels of Academic Achievement. *Baltic Journal of Modern Computing*, *4*(4), 994–1007. https://doi.org/10.22364/bjmc.2016.4.4.24

Kradolfer, S., Dubois, S., Riedo, F., Mondada, F., & Fassa, F. (2014). *A Sociological Contribution to Understanding the Use of Robots in Schools: The Thymio Robot BT - Social Robotics: 6th International Conference, ICSR 2014, Sydney, NSW, Australia, October 27-29, 2014. Proceedings*. 217–228. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11973-1_22

Kray, J. (2006). Task-set switching under cue-based versus memory-based switching conditions in younger and older adults. *Brain Research*, *1105*(1), 83–92. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.11.016

Kubilinskiene, S., Zilinskiene, I., Dagiene, V., & Sinkevičius, V. (2017). Applying Robotics in School Education: a Systematic Review. *Baltic Journal of Modern Computing*, *5*(1), 50–69. https://doi.org/10.22364/bjmc.2017.5.1.04

Kucuk, S., & Sisman, B. (2018). Pre-service teachers' experiences in learning robotics design and programming. *Informatics in Education*, *17*(2), 301–320. https://doi.org/10.15388/infedu.2018.16

Kyriazopoulos, I., Koutromanos, G., Voudouri, A., & Galani, A. (2021). Educational Robotics in Primary Education. In *Educational Robotics in Primary Education* (pp. 377–401). https://doi.org/10.4018/978-1-7998-6717-3.ch015

La Paglia, F., La Cascia, C., Francomano, M. M., & La Barbera, D. (2017). Educational robotics to improve mathematical and metacognitive skills. A Think Piece for the HRDC Summit Skills required for the 21st century. In *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine* (Vol. 15, pp. 70–75).

La Paglia, F., Francomano, M. 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.

La Paglia, F., Rizzo, R., & La Barbera, D. (2011). Use of robotics kits for the enhancement of metacognitive skills of mathematics: a possible approach. *Studies in Health Technology and Informatics*, *167*, 26–30.

Lancheros-cuesta, D., & Fabregat, R. (2022). Educational Robotics Intervention in the Motivation of Students. *IEEE Revista iberoamericana de tecnologias del aprendizaje, 17*(2), 131–139.

Lancia, I. S., & Rubinacci, F. (2007). Dal Logo al Lego. Simulazioni e robot. In M. R. Strollo (Ed.), *Scienze cognitive e aperture pedagogiche. Nuovi orizzonti nella formazione degli*

insegnanti. (pp. 163–170). FrancoAngeli.
Last, B. S., Lawson, G. M., Breiner, K., Steinberg, L., & Farah, M. J. (2018). Childhood socioeconomic status and executive function in childhood and beyond. *PLoS ONE*, *13*(8), 1–12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202964
Laurillard, D. (2015). *Insegnamento come scienza della progettazione. Costruire modelli pedagogici per apprendere con le tecnologie.* FrancoAngeli.
Lawson, T., & Comber, C. (1999). Superhighways technology: Personnel factors leading to successful integration of information and communications technology in schools and colleges. *Journal of Information Technology for Teacher Education*, *8*(1), 41–53. https://doi.org/10.1080/14759399900200054
Lee, E., Lee, Y., Kye, B., & Ko, B. (2008). Elementary and Middle School Teachers', Students' and Parents' Perception of Robot-Aided Education in Korea. In J. Luca & E. R. Weippl (Eds.), *Proceedings of EdMedia + Innovate Learning 2008* (pp. 175–183). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). https://www.learntechlib.org/p/28391
Lee, J., Lee, D., & Lee, J. gil. (2022). Can Robots Help Working Parents with Childcare? Optimizing Childcare Functions for Different Parenting Characteristics. *International Journal of Social Robotics*, *14*(1), 193–211. https://doi.org/10.1007/s12369-021-00784-8
Lee, K., Bull, R., & Ho, R. M. H. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child Development*, *84*(6), 1933–1953. https://doi.org/10.1111/cdev.12096
Lehmann, H., & Rossi, P. G. (2019). Social robots in educational contexts: Developing an application in enactive didactics. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, *15*(2), 27–41. https://doi.org/10.20368/1971-8829/1633
Lehmann, H., & Rossi, P. G. (2020). Social robots as educational mediators in the lecture hall. *Sistemi Intelligenti*, *XXXII*(1), 167–179. https://doi.org/10.1422/96287
Lehmann, Hagen, & Svarny, P. (2021). Using a social robot for different types of feedback during university lectures. *Education Sciences and Society*, *2*, 282–295. https://doi.org/10.3280/ess2-2021oa12485
Leite, I., Martinho, C., & Paiva, A. (2013). Social Robots for Long-Term Interaction: A Survey. *International Journal of Social Robotics*, *5*(2), 291–308. https://doi.org/10.1007/s12369-013-0178-y
Leon-Carrion, J., Garcìa-Orza, J., & Pérez-Santamarìa, F. J. (2004). Development of the inhinitory component of the executive functions in children and asolescents. *International Journal of Neuroscience*, *114*(10), 1291–1311. https://doi.org/10.1080/00207450490476066
Leone, V., & Luzzini, M. (2016). *Fare CLIL con gli EAS alla scuola primaria*. La Scuola SEI.
Leoste, J., & Heidmets, M. (2020). Bringing an educational robot into a basic education math lesson. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *1023*, 237–247. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26945-6_21
Leroux, P. (1999). W4: Educational robotics. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *10*, 1080–1089.
Levy, S. T., & Mioduser, D. (2008). Does it "want" or "was it programmed to..."? Kindergarten children's explanations of an autonomous robot's adaptive functioning. *International Journal of Technology and Design Education*, *18*(4), 337–359. https://doi.org/10.1007/s10798-007-9032-6
Lezak, M. (1983). *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press.
Lin, C. H., Liu, E. Z. F., & Huang, Y. Y. (2012). Exploring parents' perceptions towards educational robots: Gender and socio-economic differences. *British Journal of Educational Technology*, *43*(1), 31–34. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2011.01258.x
Lin, Y.-C., Liu, T.-C., Chang, M., & Yeh, S.-P. (2009). Exploring Children's perceptions of the

robots. In *Edutainment 2009, LNCS* (Vol. 5670, pp. 512–517). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03364-3
Lin, Y., & Weintrop, D. (2021). The landscape of Block-based programming: Characteristics of block-based environments and how they support the transition to text-based programming. *Journal of Comp. Languages*, *67*(1).
Lindh, J., & Holgersson, T. (2007). Does lego training stimulate pupils' ability to solve logical problems? *Computers & Education*, *49*(4), 1097–1111. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.12.008
Liu, A., Newsom, J., Schunn, C., & Shoop, R. (2013). Students learn programming faster through robotic simulation. *Tech Directions*, *72*(8), 16–19. http://www.education.rec.ri.cmu.edu/content/educators/research/files/p16-19 Shoop et al.pdf
Liu, E. Z.-F. (2010). Early adolescents' perceptions of educational robots and learning of robotics. *Br. J. Educ. Technol.*, *41*,44.https://api.semanticscholar.org/CorpusID:30008247
Liu, Y., Odic, D., Tang, X., Ma, A., Laricheva, M., Chen, G., Wu, S., Niu, M., Guo, Y., & Milner-Bolotin, M. (2023). Effects of Robotics Education on Young Children's Cognitive Development: a Pilot Study with Eye-Tracking. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 295–308. https://doi.org/10.1007/s10956-023-10028-1
Lucangeli, D. (2019). *Cinque emozioni leggere sull'emozione di apprendere.* Trento: Erickson.
Luccio, F. L. (2019). Learning distributed algorithms by programming robots. *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, 15(2), 89–100. https://doi.org/10.20368/1971-8829/1625
Lunt, L., Bramham, J., Morris, R. G., Bullock, P. R., Selway, R. P., Xenitidis, K., & David, A. S. (2012). Prefrontal cortex dysfunction and "Jumping to Conclusions": bias or deficit? *Journal of Neuropsychology*, *6*(1), 65–78. https://doi.org/10.1111/j.1748-6653.2011.02005.x
Lye, S. Y., & Koh, J. H. L. (2014). Review on teaching and learning of computational thinking through programming: What is next for K-12? *Computers in Human Behavior*, *41*, 51–61. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.09.012
Lytridis, C., Bazinas, C., Papakostas, G. A., & Kaburlasos, V. (2020). On measuring engagement level during child-robot interaction in education. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, *1023*(February), 3–13. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26945-6_1
Lytridis, C., Vrochidou, E., & Kaburlasos, V. (2018). Emotional Speech Recognition toward Modulating the Behavior of a Social Robot. *The Proceedings of JSME Annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)*, *0*, 1A1-B14. https://doi.org/10.1299/jsmermd.2018.1a1-b14
Ma, H., Zhao, M., Wang, H., Wan, X., Cavanaugh, T. W., & Liu, J. (2021). Promoting pupils' computational thinking skills and self-efficacy: A problem-solving instructional approach. *Educational Technology Research and Development*, 69, 1599–1616. https://doi.org/10.1007/s11423-021-10016-5
Mai, D. T. T., Da, C. Van, & Hanh, N. Van. (2024). The use of ChatGPT in teaching and learning: a systematic review through SWOT analysis approach. *Frontiers in Education*, 9(February), 1–17. https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1328769
Mainardi, M. (2022). L'educazione speciale in Ticino. Una Breve Cronista. *L'ideario*, 3, 8–10.
Mainardi, M. (2023). Inclusive education: genesis and challenges of a great ethical and educational imperative! *Italian Journal of Special Education for Inclusion*, 11(1), 200–207. https:// doi. org/ 10.7346/ sipes
Macchia, S., & D'Ambrosio, A. (2018). *Scienze con gli EAS. Con trentatré esperimenti usando smartphone e tablet*. Morcelliana. https://books.google.it/books?id=SSuIuQEACAAJ
MacLeod, C. M. (1991). Half a century of reseach on the stroop effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, *109*(2), 163–203. https://doi.org/10.1037/0033-2909.109.2.163

Major, L., Kyriacou, T., & Brereton, O. P. (2012). Systematic literature review: teaching novices programming using robots. *IET Software*, *6*(6), 502. https://doi.org/10.1049/iet-sen.2011.0125

Mandic, D., Mišcevic, G., Babic, J., & Matovic, S. (2024). Educational Robots in Teachers' Education. *Research in Pedagogy*, 14(2), 361-376.

Mannila, L., Nordén, L. Å., & Pears, A. (2018). Digital competence, teacher self-efficacy and training needs. *ICER 2018 - Proceedings of the 2018 ACM Conference on International Computing Education Research, August*, 78–85. https://doi.org/10.1145/3230977.3230993

Marano, A., Innocenzi, M. and Devescovi, A. (2014) Italian adaptation, *Behavior rating inventory of executive function (BRIEF-P)*, in Gerard, A., Gioia, P.K., Isquith, S.G.G. and Lauren, K., Hogrefe, F. (Eds).

Marchignoli, R., & Lodi, M. (2016). *EAS e pensiero computazionale. Fare coding nella scuola primaria*. La Scuola SEI. https://books.google.it/books?id=oliQDAEACAAJ

Marchisoni, E., & Montagnoli, L. (2018). *Fare matematica con gli EAS*. Morcelliana.

Marcianò, G. (2017). *Robot & scuola: guida per la progettazione, la realizzazione e la conduzione di un laboratorio di Robotica Educativa* (LRE). Hoepli

Marino, M. T. (2010). Defining a technology research agenda for students with learning disabilities in inclusive science classrooms. *Journal of Special Education Technology*, 25(1), 1–28.

Marras, A. (2023). Robotica educativa: un possibile pattern didattico per l'inclusione. In G. Moretti, A. La Marca, & I. Vannini (Eds.), *La ricerca educativa e didattica nelle scuole di dottorato in Italia - Quaderni del dottorato SIRD* (pp. 196–225). Pensa MultiMedia Editore s.r.l.

Marras, A., Negrini, L., & Pasqualotto, A. (2024a). Educational Robotics in Schools: Exploring the Potential for Training Attentional Control and Executive Functions. *Technology, Knowledge and Learning*. https://doi.org/10.1007/s10758-024-09798-3

Marras, A., Bonaiuti, G., & Agus, M. (2024b). Il «Robotics Interest Questionnaire» (RIQ): uno strumento per rilevare i fattori sottesi all'insegnamento della robotica. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies* (ECPS), 29(June), 43-59. https://doi.org/10.7358/ecps-2024-029-marr

Marras, A., Zurru, A. L., & Mura, A. (2025). Educational robotics in parents' perceptions. In S. Larghi & E. Datteri (Eds.), *Child-robot interaction. Methods, Epistemology, Applications.* (pp. 43–53). College Publications. https://doi.org/10.1075/is.00014.edi

Marras, A., Fornara, F., Pasqualotto, A. (2025). "Harnessing AI for inclusive teaching: Professional development strategies for early educators" In Papadakis (Ed.) AI in Early Education: Integrating Artificial Intelligence for Inclusive and Effective Learning. *Wiley. (in press)*

Marras A., Negrini L., Pasqualotto, A. (2023), "La robotica educativa per potenziare le funzioni esecutive a scuola: un'esperienza ticinese", Convegno SIREM 2023 "New literacies – Nuovi linguaggi, nuove competenze" 30 agosto - 1° settembre 2023. *Book of Abstracts*, Brescia, Editrice Morcelliana, pp. 23 - 26. ISBN 978-88-284-0587.

Marrone, R., Zamecnik, A., Joksimovic, S., Johnson, J., & De Laat, M. (2024). Understanding Student Perceptions of Artificial Intelligence as a Teammate. *Technology, Knowledge and Learning*, 0123456789. https://doi.org/10.1007/s10758-024-09780-z

Marti, P., & Giusti, L. (2010). A robot companion for inclusive games: A user-centred design perspective. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 2014*, 4348–4353. https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509385

Martinez, L. S., & Stager, G. (2021). *Inventando si impara. Apprendere e sperimentare con strumenti e materiali (2013)* (L. Guasti (Ed.)). Carocci.

Martinez, S. L., & Stager, G. (2019). *Invent to Learn: Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom*. CA: Constructing Modern Knowledge Press.

Marzocchi, G. M., Re, A., & Cornoldi, C. (2010). *BIA - Batteria italiana per l'ADHD per la valutazione dei bambini con deficit di attenzione/iperattività*. Erickson.

Marzocchi, G. M., Usai, M. C., & Howard, S. J. (2020). Editorial: Training and Enhancing Executive Function. *Frontiers in Psychology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.02031

Mathers, N., Goktogen, A., Rankin, J., & Anderson, M. (2012). Robotic Mission to Mars: Hands-on, minds-on, web-based learning. *Acta Astronautica*, *80*, 124–131. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.06.003

McBurney, D. H., & White, T. L. (2008). *Metodologia della ricerca in psicologia* (M. R. Baroni (Ed.)). Il mulino.

McClelland, M. M., Cameron, C. E., Connor, C. M., Farris, C. L., Jewkes, A. M., & Morrison, F. J. (2007). Links between behavioral regulation and preschoolers' literacy, vocabulary, and math skills. *Developmental Psychology*, *43*(4), 947–959. https://doi.org/doi/10.1037/0012-1649.43.4.947

McDonald, S., & Howell, J. (2012). Watching, creating and achieving: Creative technologies as a conduit for learning in the early years. *British Journal of Educational Technology*, *43*(4), 641–651. https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2011.01231.x

McGill, M. M., & Decker, A. (2020). Construction of a Taxonomy for Tools, Languages, and Environments across Computing Education. *ICER 2020 - Proceedings of the 2020 ACM Conference on International Computing Education Research*, *August*, 124–135. https://doi.org/10.1145/3372782.3406258

McKerrow, P. J. (1986). Robotics, an academic discipline? *Robotics*, *2*(3), 267–274. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0167-8493(86)90035-5

McKinnon, R. D., & Blair, C. (2018). Does early executive function predict teacher-child relationships from kindergarten to second grade? *Developmental Psychology*, *54*(11), 2053–2066. https://doi.org/10.1037/dev0000584

Mecacci, L. (2017). *Lev Vygotskij. Sviluppo, educazione e patologia della mente*. Giunti.

Melchior, A., Cohen, F., Cutter, T., & Leavitt, T. (2005). An evaluation of the FIRST Robotics Competition participant and institutional impacts. *Center for Youth and Communities, Brandeis University*, *April*, 83.

Menestrina, Z., Pasqualotto, A., Siesser, A., Venuti, P., & De Angeli, A. (2021). Engaging children in story co-creation for effective serious games. *Sustainability (Switzerland)*, *13*(18). https://doi.org/10.3390/su131810334

Menghini, D., Finzi, A., Benassi, M., Bolzani, R., Facoetti, A., Giovagnoli, S., Ruffino, M., & Vicari, S. (2010). Different underlying neurocognitive deficits in developmental dyslexia: a comparative study. *Neuropsychologia*, 48(4), 863–872. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.003

Miao, F., & Cukurova, M. (2024). AI Competency Framework for Teachers. UNESCO Publishing. https://doi.org/10.54675/ZJTE2084https://doi.org/10.54675/ZJTE2084

Mikropoulos, T. a, & Bellou, I. (2013). Educational Robotics as Mindtools. *Themes in Science & Technology Education.*, *6*(1), 5–14. http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail?vid=4&sid=0ac195d1-3f80-4c6f-993d-59bfb789c4fc@sessionmgr4004&hid=4211&bdata=JnNpdGU9ZWRzLWxpdmU=#db=ehh&AN=90148054

Miller, M. R., Giesbrecht, G. F., Müller, U., McInerney, R. J., & Kerns, K. A. (2012). A Latent Variable Approach to Determining the Structure of Executive Function in Preschool Children. *Journal of Cognition and Development*, *13*(3), 395–423.

https://doi.org/10.1080/15248372.2011.585478
Mioduser, D., & Levy, S. T. (2010). Making sense by building sense: Kindergarten children's construction and understanding of adaptive robot behaviors. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, *15*(2), 99–127. https://doi.org/10.1007/s10758-010-9163-9
Mischel, W, Shoda, Y., & Rodriguez, M. I. (1989). Delay of gratification in children. *Science (New York, N.Y.)*, *244*(4907), 933–938. https://doi.org/10.1126/science.2658056
Mischel, Walter, Ayduk, O., Berman, M. G., Casey, B. J., Gotlib, I. H., Jonides, J., Kross, E., Teslovich, T., Wilson, N. L., Zayas, V., & Shoda, Y. (2011). "Willpower" over the life span: decomposing self-regulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *6*(2), 252–256. https://doi.org/10.1093/scan/nsq081
Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x
Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 39(4), 235–251. https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480
Mitchell, D., & Sutherland, D. (2020). *What really works in special and inclusive education: Using evidence-based teaching strategies.* Routledge.
Mitnik, R., Nussbaum, M., & Soto, A. (2008). An autonomous educational mobile robot mediator. *Autonomous Robots*, *25*(4), 367–382. https://doi.org/10.1007/s10514-008-9101-z
Mitsea, E., Lytra, N., Akrivopoulou, A., & Drigas, A. (2020). Metacognition, Mindfulness and Robots for Autism Inclusion. *International Journal of Recent Contributions from Engineering, Science & IT (IJES)*, *8*(2), 4. https://doi.org/10.3991/ijes.v8i2.14213
MIUR. (2012). *Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell' infanzia e del primo ciclo d'istruzione*. Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca.
MIUR. (2015). *Piano Nazionale Scuola Digitale*. Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca.
MIUR. (2018). *Indicazioni nazionali e nuovi scenari*. Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca.
Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, *21*(1), 8–14. https://doi.org/10.1177/0963721411429458.The
Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex "Frontal Lobe" Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, *41*(1), 49–100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734
Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H. L., Houts, R., Poulton, R., Roberts, B. W., Ross, S., Sears, M. R., Thomson, W. M., & Caspi, A. (2011). A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *108*(7), 2693–2698. https://doi.org/10.1073/pnas.1010076108
Moll, K., Landerl, K., Göbel, S. M., Snowling, M. J., & Gooch, D. (2014). Cognitive risk factors for specific learning disorder. *Journal of Learning DisabilitiesDisabil.*, *49*, 272–281. https://doi.org/10.1177/0022219414547221
Montuori, C., Pozzan, G., Padova, C., Ronconi, L., Vardanega, T., & Arfé, B. (2023). Combined Unplugged and Educational Robotics Training to Promote Computational Thinking and Cognitive Abilities in Preschoolers. *Education Sciences*, *13*(9).

https://doi.org/10.3390/educsci13090858
Montuori, C., Gambarota, F., Altoé, G., & Arfé, B. (2024). The cognitive effects of computational thinking: A systematic review and meta-analytic study. *Computers and Education*, 210(November 2023). https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104961
Moro, M., Menegatti, E., Sella, F., & Perona, M. (2011). *Imparare con la robotica. Applicazioni di problem solving*. Erikson.
Morrison, F. J., Ponitz, C. C., & McClelland, M. M. (2010). Self-regulation and academic achievement in the transition to school. *Child Development at the Intersection of Emotion and Cognition.*, *06*(X), 203–224. https://doi.org/10.1037/12059-011
Mortari, L., & Ghirotto, L. (2019). *Metodi per la ricerca educativa* (L. Mortari & L. Ghirotto (Eds.)). Carocci.
Mortari, L., Silva, R., & Zanotti, A. (2020). Quando il Service Learning pone la ricerca educativa a servizio della formazione docente e dell'innovazione didattica: il "caso" Resolving Robots. *RicercAzione*, 12, 83–105. https://doi.org/10.32076/RA12106
Moscovitch, M., & Umilta, C. (1990). Modularity and Neuropsychology: Modules and Central Processes in Attention and Memory. In myrna f Schwartz (Ed.), *Modular Deficits in Alzheimer-Type Dementia* (pp. 1–57). MIT Press.
Mostafa, L. (2023). Parent's Perception towards Robot Tutor in Egyptian Schools. *Rivista scientifica di studi aziendali e ambientali*, *14*(2), 462–485. https://doi.org/10.21608/jces.2023.304144
Mubin, O., Stevens, C. J., Shahid, S., Mahmud, A. Al, & Dong, J. J. (2013). A Review of the Applicability of Robots in Education. *Technology for Education and Learning*, *1*(1). https://doi.org/10.2316/journal.209.2013.1.209-0015
Munakata, Y., Snyder, H. R., & Chatham, C. H. (2012). Developing Cognitive Control: Three Key Transitions. *Current Directions in Psychological Science*, *21*(2), 71–77. https://doi.org/10.1177/0963721412436807
Muñoz, L., Villarreal, V., Morales, I., Gonzalez, J., & Nielsen, M. (2020). Developing an interactive environment through the teaching of mathematics with small robots. *Sensors*, *20*(7), 1–23. https://doi.org/10.3390/s20071935
Muñoz-Repiso, A. G. V., & Caballero-González, Y. A. (2019). Robotics to develop computational thinking in early Childhood Education. *Comunicar*, 27(59), 63–72. https://doi.org/10.3916/C59-2019-06
Mura, A. (2015). Pedagogia e Didattica dell'inclusione: i temi della formazione. In L. de Anna, P. Gaspari, & A. Mura (Eds.), *L'insegnante specializzato. Itinerari di formazione per la professione* (pp. 13–26). FrancoAngeli.
Mura, A. (2016). *Diversità e inclusione. Prospettive di cittadinanza tra processi storico-culturali e questioni aperte*. FrancoAngeli.
Mura, A. (2019). Formazione degli insegnanti e processi di inclusione. *Nuova Secondaria*, *XXXVI*(10, giugno), 108–112.
Mura, A., Zurru, A. L., & Tatulli, I. (2020). Inclusione e collaborazione a scuola: un'occasione per insegnanti e famiglia. *Italian Journal of Special Education for Inclusion*, *VIII*(1), 260–273. https://doi.org/10.7346/sipes-01-2020-19
Mury, S. R., Negrini, L., Assaf, D., & Skweres, M. (2022). How to support teachers to carry out educational robotics activities in school? The case of Roteco, the Swiss robotic teacher community. *Frontiers in Education*, *7*(August), 1–12. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.968675
Myers, D. G. (1993). Behavior and attitudes. In D. S. Myers (Ed.), *Social psychology: Fourth edition*. McGraw-Hill.
NAEYC, & Fred Rogers Center. (2012). *Technology and Interactive Media as Tools in Early*

Childhood Programs Serving Children from Birth through Age 8. National Association for the Education of Young Children & Fred Rogers Center for Early Learning and Chidren's Media. https://doi.org/10.1201/9781315154770

Naizer, G., Hawthorne, M. J. ., & Henley, T. B. . (2014). Narrowing the Gender Gap: Enduring Changes in Middle School Students' Attitude Toward Math, Science and Technology. *Journal of STEM Education: Innovations & Research*, *15*(3), 29–34. http://login.ezproxy.lib.umn.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,uid&db=eue&AN=100639395&site=ehost-live

Nam, K. W., Kim, H. J., & Lee, S. (2019). Connecting Plans to Action: The Effects of a Card-Coded Robotics Curriculum and Activities on Korean Kindergartners. *Asia-Pacific Education Researcher*, *28*(5), 387–397. https://doi.org/10.1007/s40299-019-00438-4

National Research Council. (2010). Report of a Workshop on The Scope and Nature of Computational Thinking. In *Report of a Workshop on The Scope and Nature of Computational Thinking*. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/12840

Negrini, L. (2019). Teacher Training in Educational Robotics. An Experience in Southern Switzerland: The PReSO Project. In W. Lepuschitz (Ed.), *Robotics in Education, RiE 2018, AISC 829* (Issue August, pp. 1–6). Springer Nature Switzerland AG 2019. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-97085-1_10

Negrini, L. (2020). Teachers' attitudes towards educational robotics in compulsory school Gli atteggiamenti degli insegnanti della scuola dell'obbligo nei confronti della robotica educativa. *Italian Journal of Educational Technology*, *28*(1), 77–90. https://doi.org/10.17471/2499-4324/1136

Negrini, L., & Giang, C. (2019). How do pupils perceive educational robotics as a tool to improve their 21st century skills? *Journal of E-Learning and Knowledge Society*, *15*(2), 77–87. https://doi.org/10.20368/1971-8829/1628

Negrini, L., Marras, A., Giang, C., Babazadeh M. (2023). Toward identifying the most suitable programming language to engage students: an exploratory study in non-formal settings. *5th International Conference on Higher Education Learning Methodologies and Technologies Online,* Foggia, September 13th – 15th 2023. Book of Abstracts, Editore STUDIUM s.r.l., pp. 1 - 3. ISBN 978-88-99978-64-8.

Negrini, L., Marras, A., Giang, C., & Babazadeh, M. (2024). Exploring Programming Language Choices to Boost Student Interest in Coding and Educational Robotics. In G. Casalino, R. Di Fuccio, G. Fulantelli, P. Raviolo, P. C. Rivoltella, D. Taibi, & G. A. Toto (Eds.), *Higher Education Learning Methodologies and Technologies Online* (pp. 3–17). Springer Nature Switzerland.

Negrini, L., Giang, C., & Marras, A. (2025a). A conceptual framework for the integration of educational robotics in school. In P. Mulè & P. A. Di Tore (Eds.), Convegno SIREM 2025. IBRIDAZIONI FECONDE. Saperi, pratiche, territori, rete. Book Of Abstracts. *Handbooks of Inclusive Methodology and Technology in Learning and Teaching* (pp. 59–65). Gaia srl. - Edizioni Universitarie Romane.

Negrini, L., Marras, A., & Giang, C. (2025b). The Swiss Robotic Camp: an innovative nationwide teacher training format in educational robotics. *Swiss Journal of Educational Research*, 47(1), 16–30. https://doi.org/10.24452/sjer.47.1.2

Nelson, C. A. (2012). Generating transferable skills in STEM through educational robotics. In B. Barker, G. Nugent, N. Grandgenett & V. Adamchuk (Eds.), Robotics in K-12 Education: A New Technology for Learning (pp. 54–65). *IGI Global*. https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4502-8.ch026

Nemiro, J. E. (2020). Developing collaborative behaviours in elementary school students: a comparison of robotics versus maths teams. *Educational Studies*, *47*(5), 521–537.

https://doi.org/10.1080/03055698.2020.1716209
Nilholm, C., & Göransson, K. (2017). What is meant by inclusion? An analysis of European and North American journal articles with high impact. *European Journal of Special Needs Education*, *32*(3), 437–451. https://doi.org/10.1080/08856257.2017.1295638
Noble, K. G., McCandliss, B. D., & Farah, M. J. (2007). Socioeconomic gradients predict individual differences in neurocognitive abilities. *Developmental Science*, *10*(4), 464–480. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00600.x
Nourbakhsh, I., Crowlet, K., Bhave, A., Hamner, E., Hsiu, T., Perez-Bergquist, A., Richards, S., & Wilkinson, K. (2005). The Robotic Autonomy Mobile Robotics Course: Robot Design, Curriculum Design and Educational Assessment. *Autonomous Robots*, *18*, 103–127. https://doi.org/10.1023/B
Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N., & Adamchuk, V. (2009). The use of digital manipulatives in K-12: Robotics, GPS/GIS and programming. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*, 1–6. https://doi.org/10.1109/FIE.2009.5350828
Nulli, G., Miotti, B., & Di Stasio, M. (2022). Robotica educativa e coding: strumenti per la trasformazione del curricolo. In *Progetto "coding e robotica"* (Vol. 59). Carocci Editore.
Obaid, M., Baykal, G. E., Yantaç, A. E., & Barendregt, W. (2018). Developing a Prototyping Method for Involving Children in the Design of Classroom Robots. *International Journal of Social Robotics*, *10*(2), 279–291. https://doi.org/10.1007/s12369-017-0450-7
OECD. (2014). Education at a Glance 2014: OECD Indicators. In *Oecd* (Issue September). OECD. http://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2013_eag-2013-en;jsessionid=4qrj2lt4d2oge.x-oecd-live-01
OECD. (2016). Skills for a Digital World. *Policy Brief on the Future of Work*, *December*, 1–4.
Oreški, P. (2021). Prospective Teachers' Attitudes Towards Educational Robots in Primary Education. *ICERI2021 Proceedings*, *1*(November), 2322–2331. https://doi.org/10.21125/iceri.2021.0583
Orsolini, M. (2019). *Pensando si impara. Stimolare l'attenzione, le funzioni esecutive e la memoria di lavoro nei bambini con bisogni educativi speciali.* FrancoAngeli.
Ortega-Ruipérez, B., & Lázaro Alcalde, M. (2023). Teachers' perception about the difficulty and use of programming and robotics in the classroom. *Interactive Learning Environments*, 31(10), 7074-7085.
Ouyang, F., & Xu, W. (2024). The effects of educational robotics in STEM education: a multilevel meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 11(1). https://doi.org/10.1186/s40594-024-00469-4
Owens, G., Granader, Y., Humphrey, A., & Baron-Cohen, S. (2008). LEGO® therapy and the social use of language programme: An evaluation of two social skills interventions for children with high functioning autism and Asperger syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, *38*(10), 1944–1957. https://doi.org/10.1007/s10803-008-0590-6
Paaskesen, R.B. (2020). Play-based strategies and using robot technologies across the curriculum. *International Journal of Play*, 9(2), 230-254. https://doi.org/10.1080/21594937.2020.1778272
Pachler, N., Cook, J., Bachmair, B., Kress, G., Seipold, J., Adami, E., & Rummler, K. (2010). Mobile learning: Structures, agency, practices. In *Springer* (Issue November 2019). https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0585-7
Pakman, A., Pakman, N., & Samur, Y. (2023). The Effects of Coding, Robotics, 3d Design and Game Design Education on 21st Century Skills of Primary School Students. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, *13*(2), 19–24.
Panksepp, J. (2007). Can PLAY diminish ADHD and facilitate the construction of the social brain? *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry, Journal de*

l'Académie Canadienne de Psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent, *16*(2), 57–66.
Papavlasopoulou, S., Giannakos, M. N., & Jaccheri, L. (2017). Reviewing the affordances of tangible programming languages: Implications for design and practice. In 2017 IEEE *Global Engineering Education Conference* (EDUCON) (pp. 1811-1816). IEEE. https://doi.org/10.1109/EDUCON.2017.7943096
Papadakis, S., Kalogiannakis, M., & Zaranis, N. (2016). Developing fundamental programming concepts and computational thinking with ScratchJr in preschool education: A case study. *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, *10*(3), 187–202. https://doi.org/10.1504/IJMLO.2016.077867
Papadakis, S., Vaiopoulou, J., Sifaki, E., Stamovlasis, D., Kalogiannakis, M., & Vassilakis, K. (2021). Factors That Hinder in-Service Teachers from Incorporating Educational Robotics into Their Daily or Future Teaching Practice. *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2021)*, *2*, 55–63. https://doi.org/10.5220/0010413900550063
Papert, S, & Bellomi, A. (1994). *I bambini e il computer*. Rizzoli.
Papert, S. (1980). *Mindstorms—Children, Computers and Powerful Ideas*. Basic Books.
Papert, S. (1983). *The Children's Machine. Rethinking School in the Age of the Computer*. Basic Books.
Papert, S. (1993). *MINDSTORMS: Children, Computers, and Powerful Ideas* (2nd ed.). Basic Books.
Papert, S. (1996). An exploration in the space of mathematics educations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, *1*, 95–123.
Pas, E. T., Bradshaw, C. P., & Hershfeldt, P. A. (2012). Teacher- and school-level predictors of teacher efficacy and burnout: Identifying potential areas for support. *Journal of School Psychology*, *50*(1), 129–145. https://doi.org/10.1016/j.jsp.2011.07.003
Pasqualotto, A., Mazzoni, N., Benso, F., & Chiorri, C. (2024). Reading skill profiles in school-aged italian-speaking children: A latent profile analysis investigation into the interplay of decoding. Comprehension and Attentional Control. *Brain Sciences*, 14(4), 390.
Pauls, L. J., & Archibald, L. M. D. (2016). Executive Functions in Children With Specific Language Impairment: A Meta-Analysis. J*ournal of Speech, Language, and Hearing Research*, 59(5), 1074–1086. https://doi.org/10.1044/2016_JSLHR-L-15-0174
Pavone, M. (2015). *Scuola e Bisogni Educativi Speciali*. Mondadori.
Pearson, Y., & Borenstein, J. (2013). The intervention of robot caregivers and the cultivation of children's capability to play. *Science and Engineering Ethics*, *19*(1), 123–137. https://doi.org/10.1007/s11948-011-9309-8
Pedemonte, G., & Operto, F. (2019). Roboable project : educational robotics for inclusive didactics Progetto Roboable : didattica inclusiva con la robotica educativa. *Form@re - Open Journal per La Formazione in Rete*, *19*(1), 401–411.
Pedersen, B. K. M. K., Andersen, K. E., J∅rgensen, A., Köslich, S., Sherzai, F., & Nielsen, J. (2018). Towards playful learning and computational thinking — Developing the educational robot BRICKO. *2018 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, 37–44. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:5038064
Pedersen, B. K. M. K., Jacobsen, D. M., Teichert, L. J. L., & Nielsen, J. (2021). Educational Robotics and Mediated Transfer: Transitioning from Tangible Tile-Based Programming, to Visual Block-Based Programming. *Companion of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 402–406. https://doi.org/10.1145/3434074.3447201
Pedersen, B. K. M. K., Ruwodo, V. D., Shipepe, A., Uwu-Khaeb, L., Yigzaw, S. T., Jormanainen, I., Nielsen, J., & Sutinen, E. (2022). Taxonomy for Educational Robotics at Schools. *Lecture Notes in Networks and Systems*, *515 LNNS*, 91–96. https://doi.org/10.1007/978-3-031-

12848-6_9
Pei, Z., & Nie, Y. (2018). Educational robots: Classification, characteristics, application areas and problems. *Proceedings - 2018 7th International Conference of Educational Innovation through Technology, EITT 2018*, 57–62. https://doi.org/10.1109/EITT.2018.00020
Pellegrini, M., Vivanet, G., & Trinchero, R. (2018). Gli indici di effect size nella ricerca educativa. Analisi comparativa e significatività pratica. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies*, 18, 275-309. doi: http://dx.doi.org/10.7358/ecps-2018-018-pel1
Pellicano, E. (2012). The development of executive function in autism. *Autism Research and Treatment*, *2012*, 146132. https://doi.org/10.1155/2012/146132
Pellicano, E., Kenny, L., Brede, J., Klaric, E., Lichwa, H., & McMillin, R. (2017). Executive function predicts school readiness in autistic and typical preschool children. *Cognitive Development*, *43*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2017.02.003
Pelosi, G. (2019). *EAS e grammatica. Le nuove pratiche linguistiche*. Scholé.
Peng, P., & Fuchs, D. (2016). A Meta-Analysis of Working Memory Deficits in Children With Learning Difficulties: Is There a Difference Between Verbal Domain and Numerical Domain? *Journal of Learning Disabilities*, *49*(1), 3–20. https://doi.org/10.1177/0022219414521667
Pennazio, V. (2015). *Didattica, gioco e ambienti tecnologici inclusivi*. FrancoAngeli.
Pennazio, V. (2017). Social robotics to help children with autism in their interactions through imitation. *Research on Education and Media*, *9*(1), 10–16. https://doi.org/10.1515/rem-2017-0003
Pennazio, V., & Fedeli, L. (2019). Robotics, 3D virtual worlds and social stories. A proposal for Autism Spectrum Disorder. *Form@re - Open Journal per La Formazione in Rete*, *19*(1), 213–231. https://doi.org/10.13128/formare-24908
Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive Functions and Developmental Psychopathology. *Development of the Prefrontal Cortex: Evolution, Neurobiology, and Behavior*, *37*(I), 265–281.
Perez-Vazquez, E., Lledo, G. L., & Cerda, A. G. (2022). Bee-bot robot in the use of executive functions in students with ASD: a pilot study. *Proceedings - JICV 2022: 12th International Conference on Virtual Campus*, 22–25. https://doi.org/10.1109/JICV56113.2022.9934286
Pérez, J. Q., Daradoumis, T., & Puig, J. M. M. (2020). Rediscovering the use of chatbots in education: A systematic literature review. *Computer Applications in Engineering Education*, *28*, 1549–1565. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:225331441
Piaget, J., & Inhelder, B. (1977). *La genesi delle strutture logiche elementari. Classificazione e seriazione* (Traduttore: Corda A. (Ed.)). La Nuova Italia.
Piccolo, A., De Domenico, C., Di Cara, M., Settimo, C., Corallo, F., Leonardi, S., & Cucinotta, F. (2024). Parental involvement in robot-mediated intervention: a systematic review. *Frontiers in Psychology*, 15, 1355901.
Piedade, J., Dorotea, N., Sampaio F., F., & Pedro, A. (2019). A cross-analysis of block-based and visual programming apps with computer science student-teachers. *Education Sciences*, *9*(3). https://doi.org/10.3390/educsci9030181
Piedade, J., Dorotea, N., Pedro, A., & Matos, J. F. (2020). On teaching programming fundamentals and computational thinking with educational robotics: A didactic experience with pre-service teachers. *Education Sciences*, *10*(9), 1–15. https://doi.org/10.3390/educsci10090214
Piedade, J. M. N. (2021). Pre-service and in-service teachers' interest, knowledge, and self-confidence in using educational robotics in learning activities. *Educação Formação*, *6*(1), e3345. https://doi.org/10.25053/redufor.v6i1.3345
Pinghong, Z., Yukun, N., Kang, W., Yi, Z., Xing, L., & Chaowang, S. (2022). The Teaching Mode

of STEM-Integrated Engineering Design and Its Application Oriented to the Cultivation of Computational Thinking. *Modern Distance Education Research*, 34(01), 104–112.

Pinnelli, S. (2015). ICT e Media Education. In L. d'Alonzo, F. Bocci, & S. Pinnelli (Eds.), *Didattica speciale per l'inclusione* (pp. 169–200). La Scuola.

Pinnelli, S., Pistoia, M., & Borrelli, G. (2015). Robotica E Difficoltà Di Lettura: L'esperienza Del Progetto Robin. *MEDIA EDUCATION – Studi, Ricerche, Buone Pratiche © Edizioni Centro Studi Erickson S.p.A.*, *6*(1), 84–100.

Piritore, E. (2017). *Fare EAS con la musica*. La Scuola SEI.

Plata, A., & Castelli, L. (a cura di) (2023). *Scuola a tutto campo. Indicatori del sistema educativo ticinese.* Edizione 2023. SUPSI-DFA

Polat E., Hopcan, S., Kucuk, S., & Sisman, B. (2021). A comprehensive assessment of secondary school students' computational thinking skills. *British Journal of Educational Technology*, 52(5), 1965-1980. https://doi.org/10.1111/bjet.13092

Pontecorvo, C. (1993). *La condivisione della conoscenza.* (C. Pontecorvo (Ed.)). La Nuova Italia.

Povey, J., Campbell, A. K., Willis, L. D., Haynes, M., Western, M., Bennett, S., Antrobus, E., & Pedde, C. (2016). Engaging parents in schools and building parent-school partnerships: The role of school and parent organisation leadership. *International Journal of Educational Research*, *79*, 128–141. https://doi.org/10.1016/j.ijer.2016.07.005

Qin, C., Zhang, M., Li, Z., & Chen, L. (2025). Shaping the future: How robot programming education changes the attitudes of robotics among rural primary school students in a developing country. *Education and Information Technologies*, 30(6), 7045-7076.

Rao, L. N., & Jalil, H. A. (2021). A Survey on Acceptance and Readiness to Use Robot Teaching Technology Among Primary School Science Teachers. *Asian Social Science*, *17*(11), 115. https://doi.org/10.5539/ass.v17n11p115

Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators. DigCompEdu* (Y. Punie (Ed.)). Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/178382

Reich-Stiebert, N., & Eyssel, F. (2016). Robots in the Classroom: What Teachers Think About Teaching and Learning with Education Robots. In A. Agah, J. J. Cabibihan, A. M. Howard, M. A. Salichs, & H. He (Eds.), *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 9979 LNAI* (pp. V–VI). https://doi.org/10.1007/978-3-319-47437-3

Reiter, A., Tucha, O., & Lange, K. W. (2005). Executive functions in children with dyslexia. *Dyslexia*, *11*, 116–131. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/dys.289

Resing, W. C. M., Vogelaar, B., & Elliott, J. G. (2020). Children's solving of 'Tower of Hanoi' tasks: dynamic testing with the help of a robot. *Educational Psychology*, *40*(9), 1136–1163. https://doi.org/10.1080/01443410.2019.1684450

Resnick, M. (2012). Reviving Papert's dream. *Educational Technology: The Magazine for Managers of Change in Education*, *52*, 42–46.

Reyes Mury, S., Negrini, L., Assaf, D., & Skweres, M. (2022). How to support teachers to carry out educational robotics activities in school? The case of Roteco, the Swiss robotic teacher community. *Frontiers in Education*, 7, 968675. https://doi.org/10.3389/feduc.2022.968675

Rincón, S. A. C., Gudiño, H. C. M., & Herrera, R. de J. G. (2024). Robotics for inclusive education: Combining active methodologies in a classroom. *Contemporary Educational Technology*, 16(3). https://doi.org/10.30935/cedtech/14939

Rivoltella, P. C., & Rossi, P. G. (2019). *Tecnologie per l'educazione* (Pier Cesare Rivoltella & P. G. Rossi (Eds.)). Pearson.

Rivoltella, P. C. (2013). *Fare didattica con gli EAS*. La Scuola.

Rivoltella, P. C. (2014). *Smart future: didattica, media digitali e inclusione* (Pier Cesare Rivoltella (Ed.)). FrancoAngeli.

Rivoltella, P. C. (2015). *Didattica inculsiva con gli EAS*. La Scuola.
Robins, B., & Dautenhahn, K. (2014). Tactile Interactions with a Humanoid Robot: Novel Play Scenario Implementations with Children with Autism. *International Journal of Social Robotics*, *6*(3), 397–415. https://doi.org/10.1007/s12369-014-0228-0
Robins, B., Dautenhahn, K., Ferrari, E., Kronreif, G., Prazak-Aram, B., Marti, P., Iacono, I., Gelderblom, G. J., Bernd, T., Caprino, F., & Laudanna, E. (2012). Scenarios of robot-assisted play for children with cognitive and physical disabilities. *Interaction Studies. Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial SystemsInteraction Studies / Social Behaviour and Communication in Biological and Artificial SystemsInteraction Studies*, *13*(2), 189–234. https://doi.org/10.1075/is.13.2.03rob
Rodriguez, V. (2012). The teaching brain and the end of the empty vessel. *Mind, Brain, and Education*, *6*(4), 177–185. https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2012.01155.x
Rodríguez Lera, F. J., Fernández Hernández, R., Lopez González, S., González-Santamarta, M. A., Jesús Rodríguez Sedano, F., & Fernandez Llamas, C. (2025). Accessible and Pedagogically-Grounded Explainability for Human-Robot Interaction: A Framework Based on UDL and Symbolic Interfaces. arXiv e-prints, arXiv-2504.
Roque, R., Lin, K., & Liuzzi, R. (2016). "I'm Not Just a Mom": Parents Developing Multiple Roles in Creative Computing. *Singapore: International Society of the Learning Sciences.*
Román-González, M. (2015). Computational Thinking Test: Design Guidelines and Content Validation. In *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Education and New Learning Technologies* (EDULEARN 2015) (pp. 2436–2444). IATED.
Román-González, M., Moreno-León, J., & Robles, G. (2019). Combining Assessment Tools for a Comprehensive Evaluation of Computational Thinking Interventions. In: Kong, SC., Abelson, H. (eds) *Computational Thinking Education.* Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6528-7_6
Rose, D. H., & Meyer, A. (2002). *Teaching every student in the digital age: Universal design for learning*. Association for Supervision and Curriculum Development.
Rubinacci, F., Ponticorvo, M., Passariello, R., & Miglino, O. (2017). Robotics for soft skills training. *Research on Education and Media*, *9*(2), 20–25. https://doi.org/10.1515/rem-2017-0010
Rusk, N., Resnick, M., Berg, R., & Pezalla-Granlund, M. (2008). New pathways into robotics: Strategies for broadening participation. *Journal of Science Education and Technology*, *17*(1), 59–69. https://doi.org/10.1007/s10956-007-9082-2
Saettone, L., Bogliolo, M., Bixio, A., Sgorbissa, A., Fedriga, R., Micheli, E., ... & Recchiuto, C. (2024, August). The Impact of Age and Educational Robotics on Children's Perception of Robots: A Qualitative Coding Analysis. In 2024 33rd I*EEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication* (ROMAN) (pp. 1524-1531). IEEE.
Sáez López, J. M., Otero, R. B., & De Lara García-Cervigón, S. (2021). Introducing robotics and block programming in elementary education. *RIED-Revista Iberoamericana de Educacion a Distancia*, *24*(1), 95–113. https://doi.org/10.5944/ried.24.1.27649
Salomon, G. (2016). It's Not Just the Tool but the Educational Rationale that Counts. *Educational Technology and Polycontextual Bridging*, *July*, 149–161. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-645-3_8
Salvini, P. (2019). The new ethical challenges of robotics . Social robots and psychological hazards Le nuove sfide etiche della robotica . Robot sociali e pericoli psicologici. *Form@re - Open Journal per La Formazione in Rete*, *19*, 328–338. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13128/formare-25047
Sánchez Utgé, M., Mazzer, M., Pagliara, S. M., & de Anna, L. (2017). La formazione degli insegnanti di sostegno sulle TIC. Analisi dei prodotti multimediali del corso di

specializzazione per le attività di sostegno. *Italian Journal of Special Education for Inclusion*, *5*(1), 133–146.

Santos, J., & Castro, R. (2019). Tech Teach: Acquisition of Physics-Related Knowledge and Scientific Inquiry Skills Through Educational Robotics. *SSRN Electronic Journal* https://doi. org/ 10. 2139/ ssrn. 34409 71

Sapounidis, T., & Alimisis, D. (2021). Educational Robotics Curricula: Current Trends and Shortcomings. In M. Malvezzi, D. Alimisis, & M. Moro (Eds.), *Education in {&} with Robotics to Foster 21st-Century Skills* (pp. 127–138). Springer International Publishing.

Sapounidis, T., Tselegkaridis, S., & Stamovlasis, D. (2024). Educational robotics and STEM in primary education: a review and a meta-analysis. *Journal of Research on Technology in Education*, 56(4), 462–476. https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2160394

Savia, G. (2016). *Universal Design for Learning: La Progettazione Universale per l'Apprendimento per una didattica inclusiva*. Erickson.

Scaradozzi, D., Cesaretti, L., Screpanti, L., Storti, M., & Mazzieri, E. (2019a). Implementation and Assessment Methodologies of Teachers' Training Courses for STEM Activities. *Technology, Knowledge and Learning*, *24*(2), 247–268. https://doi.org/10.1007/s10758-018-9356-1

Scaradozzi, D., Screpanti, L., & Cesaretti, L. (2019b). Towards a Definition of Educational Robotics: A Classification of Tools, Experiences and Assessments. In L. Daniela (Ed.), *Smart Learning with Educational Robotics: Using Robots to Scaffold Learning Outcomes* (pp. 63–92). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19913-5_3

Scaradozzi, D., Sorbi, L., Pedale, A., Valzano, M., & Vergine, C. (2015). Teaching Robotics at the Primary School: An Innovative Approach. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *174*(May 2016), 3838–3846. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.1122

Schina, D., Esteve-González, V., & Usart, M. (2021). An overview of teacher training programs in educational robotics: characteristics, best practices and recommendations. *Education and Information Technologies*, *26*(3), 2831–2852. https://doi.org/10.1007/s10639-020-10377-z

Schmitt, S. A., Geldhof, G. J., Purpusa, D. J., Duncan, R., McClelland, M. M., Purpura, D. J., Duncan, R., & McClelland, M. M. (2017). Examining the relations between executive function, math, and literacy during the transition to kindergarten: A multi-analytic approach. *Journal of Educational Psychology*, *109*(8), 1120–1140. https://doi.org/10.1037/edu0000193

Schön, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books.

Scippo, S., & Ardolino, F. (2021). Computational thinking in Montessori primary school. *Ricerche Di Pedagogia e Didattica*, *2*, 59–76. https://doi.org/https://doi.org/10.6092/issn.1970-2221/12163

Sears, C. R., & Pylyshyn, Z. W. (2000). Multiple object tracking and attentional processing. Canadian Journal of Experimental Psychology Revue Canadienne De Psychologie Expérimentale, 54(1), 1–14. https:// doi. org/ 10. 1037/ h0087 326

Secim, E. S., Durmuşoğlu, M. C., & Çiftçioğlu, M. (2021). Robot Drawings of Children Receiving Preschool Education and Their Opinions on Robots. *International Journal of Computer Science Education in Schools*, *4*(4). https://doi.org/10.21585/ijcses.v4i4.112

Selby, C., & Woollard, J. (2013). Computational Thinking : The Developing Definition. *ITiCSE Conference 2013*, 5–8.

Selwyn, N. (2016). Is technology good for education? Polity Press.

Serholt, S. (2018). Breakdowns in children's interactions with a robotic tutor: A longitudinal study. *Computers in Human Behavior*, *81*, 250–264. https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.030

Serholt, S., & Barendregt, W. (2016). Robots Tutoring Children: Longitudinal Evaluation of Social Engagement in Child-Robot Interaction. *9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*. https://doi.org/10.1145/2971485.2971536

Shah, H. K., Domitrovich, C. E., Morgan, N. R., Moore, J. E., Rhoades, B. L., Jacobson, L., & Greenberg, M. T. (2017). One or two years of participation: Is dosage of an enhanced publicly funded preschool program associated with the academic and executive function skills of low-income children in early elementary school? *Early Childhood Research Quarterly*, *40*, 123–137. https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2017.03.004

Shiomi, M., & Hagita, N. (2017). Social Acceptance toward a Childcare Support Robot System : web- based cultural differences investigation and a field study in Japan Masahiro Shiomi and Norihiro Hagita Social Acceptance toward a Childcare Support Robot System : web-based cultural differ. *Adv Robot*, *31*, 1–12. https://doi.org/https:// doi. org/ 10. 1080/ 01691 864. 2017. 13453 22

Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching:Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review, 57*, 1–22.

Sibilio, M. (2012). *Il corpo e il movimento nella ricerca didattica: indirizzi scientifico-disciplinari e chiavi teorico-argomentative*. Liguori.

Sibilio, M. (2014). *Didattica semplessa*. Liguori.

Sibilio, M., & Aiello, P. (Eds.). (2018). *Lo sviluppo professionale dei docenti. Ragionare di agentività per una scuola inclusiva*. EdiSES.

Sisman, B., Kucuk, S., & Yaman, Y. (2020). The effects of robotics training on children's spatial ability and attitude toward STEM. *International Journal of Social Robotics*, *13*(2), 379–389.

Sisman, B., & Kucuk, S. (2019). An educational robotics course: Examination of educational potentials and pre-service teachers' experiences. *International Journal of Research in Education and Science*, *5*(2), 510–531.

Smith, S., Mosher, M., Rowland, A., & Goldman, S. (2024). A guide for special education leaders to utilize artificial intelligence: Students' perspectives for future consideration. *Journal of Special Education Leadership*, *37*(2), 77–92.

Smyrnova-trybulska, E., Morze, N., Kommers, P., Zuziak, W., & Gladun, M. (2016). *Educational Robots in Primary School Teachers' and Students' Opinion About St Em*. 197–204. www.roboty.bielsko.pl

Snow, R. E. (1992). Aptitude Theory: Yesterday, Today, and Tomorrow. *Educational Psychologist*, *27*(1), 5–32. https://doi.org/10.1207/s15326985ep2701_3

Snyder, H. R., Miyake, A., & Hankin, B. L. (2015). Advancing understanding of executive function impairments and psychopathology: Bridging the gap between clinical and cognitive approaches. *Frontiers in Psychology*, *6*(MAR). https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00328

Sobin, C., Kiley-brabeck, K., Blundell, M., & Anyane-yeboa, K. (2010). Developmental Neuropsychology Networks of Attention in Children With the 22q11 Deletion Syndrome. *Developmental Neuropsychology*, *26*(June 2014), 37–41. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2602

Sonderegger, S., Guggemos, J., & Seufert, S. (2022). How Social Robots Can Facilitate Teaching Quality – Findings from an Explorative Interview Study. *Robotics in Education. RiE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, *August*, 1–14.

Sonuga-Barke, E. J. S., Daley, D., Thompson, M., & Swanson, J. (2003). Preschool ADHD: exploring uncertainties in diagnostic validity and utility, and treatment efficacy and safety. *Expert Review of Neurotherapeutics*, *3*(4), 465–476. https://doi.org/10.1586/14737175.3.4.465

Spiegel, J. A., Goodrich, J. M., Morris, B. M., Osborne, C. M., & Lonigan, C. J. (2021). Relations

between executive functions and academic outcomes in elementary school children: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 147(4), 329–351. https://doi.org/10.1037/bul0000322

Stager, G. (2005). Papertian constructionism and the design of productive contexts for learning. *Proceedings of Euro Logo*, 43–53.

Stavridis, S., Papageorgiou, D., & Doulgeri, Z. (2017). Dynamical System Based Robotic Motion Generation with Obstacle Avoidance. *IEEE Robotics and Automation Letters*, *2*(2), 712–718. https://doi.org/10.1109/LRA.2017.2651172

Stergiopoulou, M., Karatrantou, A., & Panagiotakopoulos, C. T. (2017). Educational Robotics and STEM Education in Primary Education: A Pilot Study Using the H&S Electronic Systems Platform. In *Educational Robotics in the Makers Era. Edurobotics 2016. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 560.* (Vol. 560, Issue August). https://doi.org/10.1007/978-3-319-55553-9

Stevens, C., & Bavelier, D. (2012). The role of selective attention on academic foundations: A cognitive neuroscience perspective. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2, 30–48

Sugimoto, M. (2011). A Mobile mixed-reality environment for children's storytelling using a handheld projector and a robot. *IEEE Trans Learning Technologies*, *4*(3), 249–260.

Sullivan, A. A., Bers, M. U., & Mihm, C. (2017). Imagining, playing, and coding with kibo: Using robotics to foster computational thinking in young children. *Proceedings of International Conference on Computational Thinking Education*, 110–115.

Sullivan, A., & Bers, M. U. (2019). Investigating the use of robotics to increase girls' interest in engineering during early elementary school. *International Journal of Technology and Design Education*, *29*(5), 1033–1051. https://doi.org/10.1007/s10798-018-9483-y

Sullivan, F. R. (2008). Robotics and science literacy: Thinking skills, science process skills and systems understanding. *Journal of Research in Science Teaching*, *45*(3), 373–394. https://doi.org/10.1002/tea.20238

Sullivan, F. R., & Moriarty, M. A. (2009). Robotics and Discovery Learning: Pedagogical Beliefs, Teacher Practice, and Technology Integration. *Journal of Technology and Teacher Education*, *17*(1), 109–142. http://www.editlib.org/p/26177/

Sun, L., Hu, L., & Zhou, D. (2022). Programming attitudes predict computational thinking: Analysis of differences in gender and programming experience. *Computers & Education*, 181, 104457.

Sun, L., & Zhou, D. (2023). Effective instruction conditions for educational robotics to develop programming ability of K-12 students: A meta-analysis. *Journal of Computer Assisted Learning*, *39*(2), 380–398. https://doi.org/10.1111/jcal.12750

Sun, H., Tan, J., & Lim, M. C. (2025). AI and early language learning: A scoping review. AI, *Brain and Child*, 1(1). https://doi.org/10.1007/s44436-025-00005-3

Syriopoulou-Delli, C., & Gkiolnta, E. (2021). Robotics and inclusion of students with disabilities in special education. *Research, Society and Development*, *10*(9), 20–21.

Taylor, P. C. (2016). *Why is a STEAM Curriculum Perspective Crucial to the 21st Century?*

The Jamovi project. Jamovi (Version 2.3). (2022).

Theodoropoulos, A., Antoniou, A., & Lepouras, G. (2017). Teacher and student views on educational robotics: The Pan-Hellenic competition case. *Application and Theory of Computer Technology*, *2*(4), 1. https://doi.org/10.22496/atct.v2i4.94

Theodoropoulos, A., Leon, P., Antoniou, A., & Lepouras, G. (2018). Computing in the physical world engages students: Impact on their attitudes and self-efficacy towards Computer Science through robotic activities. ACM *International Conference Proceeding Series*, 4–7. https://doi.org/10.1145/3265757.3265770

Thorell, L. B., Lindqvist, S., Bergman Nutley, S., Bohlin, G., & Klingberg, T. (2009). Training

and transfer effects of executive functions in preschool children. *Developmental Science*, *12*(1), 106–113. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00745.x

Tocháček, D., Lapeš, J., & Fuglík, V. (2016). Developing Technological Knowledge and Programming Skills of Secondary Schools Students through the Educational Robotics Projects. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *217*(February), 377–381. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.02.107

Toh, L. P. E., Causo, A., Tzuo, P. W., Chen, I. M., & Yeo, S. H. (2016). A review on the use of robots in education and young children. *Educational Technology and Society*, *19*(2), 148–163.

Tomlinson, C. A. (2014). *The differentiated classroom: Responding to the needs of all learners* (2nd ed.). ASCD.

Torre, M. (2019). Seven Ozobot messengers : a story by Buzzati between mathematics and robotics I sette messaggeri Ozobot : un racconto di Buzzati tra matematica e robotica. *Form@re - Open Journal per La Formazione in Rete*, *19*(1), 392–400. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13128/formare-24519

Tortello, M., Pavone, M., & Rollero, P. (1999). Partecipare alla "cultura del compito": dagli apprendimenti all'atmosfera culturale dell'apprendere. In D. Ianes & M. Tortello (Eds.), *Handicap e risorse per l'integrazione*. Erickson.

Trinchero, R. (2008). *Manuale di ricerca educativa*. FrancoAngeli.

Trinchero, R., & Robasto, D. (2019). *I Mixed Method nella ricerca educativa*. Mondadori.

Trisciuzzi, L., & Zappaterra, T. (2005). *La dislessia. Una didattica speciale per le difficoltà nella lettura*. Guerini e Associati.

Truglio, F., Marocco, D., Miglino, O., Ponticorvo, M., & Rubinacci, F. (2019). Educational robotics to support social relations at school. In Wilfried Lepuschitz, M. Merdan, R. Balogh, & D. Obdrzalek (Eds.), *Robotics in Education. International Conference on Robotics and Education RiE 2017* (pp. 168 - 174). Cham: Springer.

Tsai, M. J., Wang, C. Y., Wu, A. H., & Hsiao, C. Y. (2021). The development and validation of the robotics learning self-efficacy scale (RLSES). *Journal of Educational Computing Research*, 59(6), 1056–1074. https://doi.org/10.1177/ 0735633121992594

Tschannen-Moran, M., & Hoy, A. W. (2001). Teacher efficacy: Capturing an elusive construct. *Teaching and Teacher Education*, 17(7), 783–805. https://doi.org/10.1016/S0742-051X(01)00036-1

Tschannen-Moran, M., & Hoy, A. W. (2007). The differential antecedents of self-efficacy beliefs of novice and experienced teachers. *Teaching and Teacher Education*, *23*(6), 944–956. https://doi.org/10.1016/j.tate.2006.05.003

Tucker, C. R., & Novak, K. (2025). *Elevating educational design with AI. Making learning accessible, inclusive, and equitable.* Impress.

Turkle, S. (2007). *Evocative objects: things we think with* (S. Turkle (Ed.)). MIT Press.

Turkle, S., Breazeal, C., Dasté, O., & Scassellat, B. (2006). Encounters with kismet and cog: Children respond to relational artifacts. *Digital Media: Transformations in Human Communication*, *120*, 313–330.

Tzagkaraki, E., Papadakis, S., & Kalogiannakis, M. (2021). Exploring the Use of Educational Robotics in Primary School and Its Possible Place in the Curricula. In M. Malvezzi (Ed.), *Educational Robotics International Conference EDUROBOTICS 2021* (Vol. 982, pp. 216–229). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77022-8_19

Ugolini, F.C., & Kakavas, P. (2020). Definizioni operative e strumenti di rilevazione del pensiero computazionale: una rassegna sistematica. In P.G. Rossi, A. Garavaglia & L. Petti (a cura di), Le Società per la società: ricerca, scenari, emergenze. III Tomo (pp. 199-207). Lecce: Pensa-Multimedia.

Usai, M. C., Viterbori, P., Traverso, L., & De Franchis, V. (2014). Latent structure of executive

function in five- and six-year-old children: a longitudinal study. *Eur. J. Dev. Psychol.*, *11*, 447–462. https://doi.org/10.1080/17405629.2013.840578

Valeri, G., & Stievano, P. (2007). *Neuropsicologia dello sviluppo e funzioni esecutive*. *27*, 195–204.

Van Den Heuvel, R., Lexis, M., & De Witte, L. (2016). Giochi di prossima generazione I robot per supportare il gioco dei bambini con severe disabilità fisiche. *L'integrazione Scolastica e Sociale*, *15*, 125–138.

Van Duuren, M., & Scaife, M. (1996). "Because a robot's brain hasn't got a brain, it just controls itself"—Children's attributions of brain related behaviour to intelligent artefacts. *European Journal of Psychology of Education*, *11*(4), 365–376. http://www.jstor.org/stable/23420001

Vangrieken, K., Dochy, F., Raes, E., & Kyndt, E. (2015). Teacher collaboration: A systematic review. *Educational Research Review*, *15*, 17–40. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.04.002

Vel Żabik, K. P., & Tanaś, Ł. (2018). Shared cooperative activities in parent-child dyads in an educational robotics workshop. *Proceedings of the 15th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age, CELDA 2018*, 194–200.

Verner, I. (2013). Characteristics of Student Engagement in Robotics. In K. Omar, M. J. Nordin, P. Vadakkepat, A. S. Prabuwono, S. N. H. S. Abdullah, J. Baltes, S. M. Amin, W. Z. W. Hassan, & M. F. Nasrudin (Eds.), *Intelligent Robotics Systems: Inspiring the NEXT* (pp. 181–194). Springer Berlin Heidelberg.

Veruggio, G., & Operto, F. (2008). Roboethics: Social and Ethical Implications of Robotics. In *Springer Handbook of Robotics* (Issue December, pp. 1499–1524). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5

Vicari, S., & Di Vara, S. (2017). *Funzioni esecutive e disturbi dello sviluppo*. Erickson.

Vio, C., & Guaran, F. (2017). Funzioni esecutibe e disturbo da deficit di attenzione/iperattività. In S. Vicari & S. Di Vara (Eds.), *Funzioni esecutive e disturbi dello sviluppo* (pp. 97–138). Erickson.

Vitale, A., & Dello Iacono, U. (2024). Using social robots as inclusive educational technology for mathematics learning through storytelling. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1–17. https://doi.org/10.31637/epsir-2024-672

Viterbori, P., Usai, M. C., Traverso, L., & De Franchis, V. (2015). How preschool executive functioning predicts several aspects of math achievement in Grades 1 and 3: A longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, *140*, 38–55. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.06.014

Vivanet, G. (2015). Che cosa sappiamo sull'efficacia delle tecnologie didattiche con soggetti con disturbo dello spettro autistico? *Form@re - Open Journal per La Formazione in Rete*, *14*(4), 77–92. https://doi.org/10.13128/formare-15798

Vlasopoulou, M., Kalogiannakis, M., & Sifaki, E. (2021). Investigating Teachers' Attitudes and Behavioral Intentions for the Impending Integration of STEM Education in Primary Schools. In S. Papadakis & M. Kalogiannakis (Eds.), *Handbook of Research on Using Education Robotics to Facilitate Student Learning* (pp. 235–256). Hershey, PA: IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-6717-3.ch009

Vrochidou, E., Najoua, A., Lytridis, C., Salonidis, M., Ferelis, V., & Papakostas, G. A. (2018). Social Robot NAO as a Self-Regulating Didactic Mediator: A Case Study of Teaching/Learning Numeracy. *2018 26th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, SoftCOM 2018*, *November*, 93–98. https://doi.org/10.23919/SOFTCOM.2018.8555764

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Harvard University Press.

Wang, C., Shen, J., & Ran, H. (2022). Imagining robots of the future: Examining sixth-graders' perceptions of robots through their literary products. *Journal of Research on Technology in Education*, *0*(0), 1–26. https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2030264

Wang, K., Sang, G. Y., Huang, L. Z., Li, S. H., & Guo, J. W. (2023). The Effectiveness of Educational Robots in Improving Learning Outcomes: A Meta-Analysis. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(5). https://doi.org/10.3390/su15054637

Wang, Y. Zhang, Y. Mao, A. Wang, J. & Li N. (2020). The research of Programming Teaching in Primary School on the Cultivation of Computational Thinking. In 2020 *Ninth International Conference of Educational Innovation through Technology*, 250-255. IEEE. https://doi.org/10.1109/EITT50754.2020.00051

Wang, Y., & Xie, B. (2024). Can robot-supported learning enhance computational thinking? A meta-analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 52(April), 101528. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101528

Wang, W., Xiao, J., & Diao, L. (2025). The Effects of Robots on Children with Autism Spectrum Disorder: A Meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 0123456789. https://doi.org/10.1007/s10803-025-06883-z

Wass, S., Porayska-Pomsta, K., & Johnson, M. H. (2011). Training attentional control in infancy. *Current Biology : CB*, *21*(18), 1543–1547. https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.08.004

Waterman, K. P., Goldsmith, L., & Pasquale, M. (2020). Integrating Computational Thinking into Elementary Science Curriculum: An Examination of Activities that Support Students' Computational Thinking in the Service of Disciplinary Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 29(1), 53–64. https:// doi. org/ 10. 1007/ s10956- 019- 09801-y

Weinberg, J., Pettibone, J., Thomas, S., & Stephen, M. (2007). *The impact of robot projects on girls' attitudes toward science and engineering. Robotics Science and Systems (RSS) Workshop on Research in Robots*. 1–2.

Welch, A. G. (2010). Using the TOSRA to assess high school students' attitudes toward science after competing in the first robotics competition: An exploratory study. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *6*(3), 187–197. https://doi.org/10.12973/ejmste/75239

Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, *7*(2), 131–149. https://doi.org/10.1080/87565649109540483

Wenden, A. (1991). *Learner Strategies for Learner Autonomy: Planning and Implementing Learner Training for Language Learners*. Prentice Hall.

Wiebe, S. A., Sheffield, T., Nelson, J. M., Clark, C. A. C., Chevalier, N., & Espy, K. A. (2011). The structure of executive function in 3-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, *108*(3), 436–452. https://doi.org/10.1016/j.jecp.2010.08.008

Wiggins, G., & McTighe, J. (2005). *Understanding by design* (Expanded 2nd ed.). ASCD.

Williams, R., Park, H. W., & Breazeal, C. (2019). A is for artificial intelligence the impact of artificial intelligence activities on young children's perceptions of robots. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 1–11. https://doi.org/10.1145/3290605.3300677

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, *49*(3), 33–36.

Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *366*(1881), 3717–3725. https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0118

Wing, J. M. (2011). Computational Thinking - What and Why? *The Link. News from the School of Computer Science. Closing the K-12 Gap.*, 20–23.

Winnicott, D. W. (1971). *Playing and Reality*. Routledge.

Wong, G. K.-W., & Cheung, H.-Y. (2020). Exploring children's perceptions of developing twenty-first century skills through computational thinking and programming. *Interactive Learning Environments*, *28*(4), 438–450. https://doi.org/10.1080/10494820.2018.1534245

Wong, G. K., Jian, S., & Cheung, H. Y. (2024). Engaging children in developing algorithmic thinking and debugging skills in primary schools: A mixed-methods multiple case study. *Education and Information Technologies*, 29(13), 16205-16254.

Wu, W. C. V., Wang, R. J., & Chen, N. S. (2015). Instructional design using an in-house built teaching assistant robot to enhance elementary school English-as-a-foreign-language learning. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 696-714. https://doi.org/10.1080/10494820.2013.792844

Xu, X., Sun, C., & Yu, X. (2023). A personalized intelligent tutoring system for mathematics homework. 2023 *International Conference on Intelligent Education and Intelligent Research (IEIR)*, Wuhan, China. https://doi.org/10.1109/IEIR59294.2023.10391237

Yamamoto, S., Tetsui, T., Naganuma, M., & Kimura, R. (2006). Trial of Using Robotic Pet as Human Interface of Multimedia Education System for Pre-school Aged Child in Kindergarten. *2006 SICE-ICASE International Joint Conference*, 3398–3403. https://doi.org/10.1109/SICE.2006.315079

Yang, O. F.-C., Lai, H.-M., & Wang, Y.-W. (2023). Effect of augmented reality-based virtual educational robotics on programming students' enjoyment of learning, computational thinking skills, and academic achievement. *Computers & Education*, *195*, 104721. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104721

Yang, Y. T. C., Chang, C. H. (2013). Empowering students through digital game authship: Enhancing concentration, critical thinking, and academic achievement. *Computers & Education*, 68, 334—344.

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. *Br. J. Educ. Technol.* 51, 1826–1842. https://doi.org/10.1111/bjet.12985

Yangüez, M., Bediou, B., Bavelier, D., & Chanal, J. (2025). Development and Differentiation of Executive Function Structure. *Journal of Cognition and Development*, 1–25. https://doi.org/10.1080/15248372.2025.2547621

Yanıs, H., & Yürük, N. (2020). Development, validity, and reliability of an educational robotics based technological pedagogical content knowledge self-efficacy scale. *Journal of Research on Technology in Education*, 53(4), 375–403. https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1784065

Yıldız, T., & Sadi Seferoˇglu, S. (2021). The effect of robotic programming on coding attitude and computational thinking skills toward self-efficacy perception ARTICLE INFO. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, 2021(2), 101–116. https://der gipark.org.tr/en/pub/joltida.

Yilmaz, I. E., & Koc, M. (2020). The consequences of robotics programming education on computational thinking skills: An intervention of the young Engineer's workshop (YEW). *Computer Applications in Engineering Education*, *29*(1), 191–208. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cae.22321

Yung, A., Cardoso-Leite, P., Dale, G., Bavelier, D., & Green, C. S. (2015). Methods to test visual attention online. *Journal of Visualized Experiments*: Jove, 96, 52470. https:// doi. org/ 10. 3791/ 52470

Zaccoletti, S., & Mason, L. (2018). The role of the three main executive functions in reading comprehension. *Giornale Italiano Di Psicologia*, 45(2), 301–330. https://doi.org/10.1421/90619

Zapata-Cáceres, M., Martín-Barroso, E., & Román-González, M. (2020). Computational

thinking test for beginners: Design and content validation. In *Proc. IEEE Glob. Eng. Educ. Conf.* (pp. 1905–1914). IEEE. https://doi.org/10.1109/EDUCON45650.2020.9125368

Zee, M., & Koomen, H. M. Y. (2016). Teacher Self-Efficacy and Its Effects on Classroom Processes, Student Academic Adjustment, and Teacher Well-Being: A Synthesis of 40 Years of Research. *Review of Educational Research*, *86*(4), 981–1015. https://doi.org/10.3102/0034654315626801

Zelazo, P. D. (2006). The Dimensional Change Card Sort (DCCS): a method of assessing executive function in children. *Nature Protocols*, 1(1), 297–301. https://doi.org/10.1038/nprot.2006.46

Zelazo, P. D., Morris, I. F., Qu, L., & Kesek, A. C. (2024). Hot executive function: Emotion and the development of cognitive control. In M. A. Bell (Ed.), *Child development at the intersection of emotion and cognition* (2nd ed., pp. 51–73). American Psychological Association. https://doi.org/10.1037/0000406-004

Zhang, Y., Luo, R., Zhu, Y., & Yin, Y. (2021). Educational Robots Improve K-12 Students' Computational Thinking and STEM Attitudes: Systematic Review. *Journal of Educational Computing Research*, *59*(7), 1450–1481. https://doi.org/10.1177/0735633121994070

Zhang, Y., & Zhu, Y. (2022). Effects of educational robotics on the creativity and problem-solving skills of K-12 students: a meta-analysis. *Educational Studies*, 00(00), 1–19. https://doi.org/10.1080/03055698.2022.2107873

Zhang, L., Carter, R. A., Basham, J. D., & Yang, S. (2022). Integrating instructional designs of personalized learning through the lens of universal design for learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(6), 1639–1656. https://doi.org/10.1111/jcal.12725

Zhong, B., & Li, T. (2020). Can Pair Learning Improve Students' Troubleshooting Performance in Robotics Education? *Journal of Educational Computing Research*, *58*(1), 220–248. https://doi.org/10.1177/0735633119829191

Zhou, J., An, T., & Han, X. J. (2019). A meta-analysis of the effects of educational robots on students' learning. *Modern Distance Education Research*, *31*(3), 96–105. https://doi.org/https://doi. org/10.3969/j.issn.1009-

Zimmerman, B. J. (2000). Attaining Self-Regulation: A Social Cognitive Perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of Self-Regulation* (pp. 13–39). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50031-7

Zingerevich, C., & La Vesser, P. D. (2008). The contribution of executive functions to participation in school activities of children with high functioning autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, *3*(2), 429–437. https://doi.org/10.1016/j.rasd.2008.09.002

Zuffianò, A., Alessandri, G., Gerbino, M., Luengo Kanacri, B. P., Di Giunta, L., Milioni, M., & Caprara, G. V. (2013). Academic achievement: The unique contribution of self-efficacy beliefs in self-regulated learning beyond intelligence, personality traits, and self-esteem. *Learning and Individual Differences*, *23*, 158–162. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.07.010

Zurru, A. L., Tatulli, I., Bullegas, D., & Mura, A. (2021). DaD: tutti bocciati? Professionalità docente e rapporti di cura nell'esperienza dei genitori. *Annali Online Della Didattica e Della Formazione Docente*, *13*(22), 136–151. https://doi.org/10.15160/2038-1034/2355

Zviel-Girshin, R., Kukliansky, I., & Rosenberg, N. (2024). Twenty-first century parents' attitudes and beliefs on early childhood robotics education. *Education and Information Technologie*s, 29(9), 11211-11233.

Ringraziamenti

La gratitudine più grande va alla mia famiglia, porto e vento: libertà di scegliere, partire e tornare; e di sognare sapendo che, all'altro capo del filo, una mano non molla mai la presa.

Ringrazio professor Giovanni Bonaiuti per la fiducia accordatami e l'inestimabile lungimiranza con cui mi ha guidata in questi anni di formazione accademica.

Ringrazio professor Lucio Negrini per le preziose occasioni di scambio e per continuare ad accogliermi, a distanza di anni, nel laboratorio Media e MINT della SUPSI.

Ringrazio Mirian Agus e Angela Pasqualotto, preziose colleghe e pregiatissime professoresse, per la costante disponibilità a condividere competenze e idee.

Un sincero ringraziamento a tutte le insegnanti e a tutti gli insegnanti, in Italia e in Svizzera, che hanno partecipato con generosità alle ricerche sulla robotica educativa: grazie per il tempo donato, l'entusiasmo e la passione che mi avete trasmesso.

Un grazie affettuoso alle alunne e agli alunni che hanno animato i laboratori di robotica: siete voi i veri protagonisti di queste pagine.

Arianna Marras è dottoressa di ricerca in Corporeità Didattiche, Tecnologie e Inclusione presso l'Università degli Studi di Salerno, insegnante specializzata di scuola primaria e attualmente assegnista di ricerca presso l'Università degli Studi di Cagliari. I suoi interessi di ricerca riguardano le tecnologie educative – con particolare attenzione alla robotica educativa – la didattica, i processi di apprendimento e di inclusione. Ha svolto un periodo di ricerca presso il Laboratorio Media e MINT del Dipartimento di Formazione e Apprendimento/Alta Scuola Pedagogica della SUPSI (Svizzera). È autrice di numerosi lavori, in particolare, sulla validazione o sviluppo di strumenti di analisi dell'efficacia della robotica educativa a scuola e sulla robotica come dispositivo didattico e di potenziamento cognitivo.

ISBN 978-88-3312-195-6 (versione online)
DOI https://doi.org/10.13125/unicapress.978-88-3312-195-6