OPPInformazioni, 138-139 (2025), 78-95

Leonardo Lapomarda*
Margherita Panettieri**

Reverse engineering nella robotica educativa

Un esempio di attività didattica costruttivista

Il presente contributo analizza un'esperienza di reverse engineering (RE) condotta in una classe seconda di scuola secondaria di primo grado di Milano, impiegando il robot non sociale CODERBOT®[1] come artefatto di apprendimento. L'iniziativa si colloca nell'alveo della robotica educativa e mira a promuovere un ambiente di apprendimento costruttivista, nel quale gli studenti siano chiamati a costruire attivamente la propria conoscenza attraverso osservazione, sperimentazione e rielaborazione iterativa.

L'ipotesi di partenza è che l'applicazione del RE in ambito educativo non si limiti alla decostruzione tecnica di artefatti fisici, ma possa promuovere negli studenti un approccio sia riflessivo che metacognitivo, in grado di stimolare competenze trasversali quali pensiero critico e problem solving[2]. Dopo aver delineato sinteticamente i fondamenti teorici del RE e i suoi collegamenti con i paradigmi costruttivisti e costruzionisti dell'apprendimento, si analizzerà come il suo impiego nella robotica educativa possa facilitare la comprensione delle relazioni tra codice, comportamento e logiche progettuali[3]. Verranno inoltre discusse le implicazioni didattiche di tale approccio per lo sviluppo di compe-

* Leonardo Lapomarda, phd student in ESC "Educazione nella Società Contemporanea" presso il Dipartimento di Scienze umane per la Formazione "Riccardo Massa" dell'Università di Milano Bicocca; collaboratore del RobotiCSS lab laboratorio per la robotica e le scienze cognitive e sociali; socio OPPI.

** Margherita Panettieri, docente di materie scientifiche e socia OPPI.

[1] Si tratta di un robot educativo open-source la cui proprietà intellettuale è dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca. Concepito per l'insegnamento della robotica e del pensiero computazionale, il CoderBot è un veicolo compatto assemblato su scheda Raspberry Pi, dotato di sensori di distanza, telecamera, microfono e altoparlante. È capace di muoversi nello spazio, emettere suoni, riconoscere volti e oggetti tramite algoritmi di visione artificiale, e reagire agli stimoli ambientali secondo modalità programmabili. Il robot si presta a scenari didattici differenziati grazie a un ambiente di programmazione modulare: si parte da Blockly, linguaggio a blocchi intuitivo simile a Scratch, fino alla possibilità per studenti più avanzati di programmare in Python. Si veda **coderbot.org/it/index.html**.

[2] Kafai Y. B. e Resnick M. (a cura di), *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah (NJ), 1996; West R. E., Rich P. J. e Ward T. B., *Learning by (re)designing: Engineering reverse engineering for education*, "TechTrends", 59 (5), 2015, pp. 26-32.

[3] Bers M. U., *Coding as a Playground: Programming and Computational Thinking in the Early Childhood Classroom*, Routledge, New York, 2018; Sullivan A. e Bers M. U., *Robotics in the early childhood classroom: Learning outcomes from an 8-week robotics curriculum in pre-kindergarten through second grade*, "International Journal of Technology and Design Education", 26 (1), 2016, pp. 3-20.

tenze digitali e trasversali negli studenti[4], mostrando come una metodologia tipicamente tecnica come il RE possa essere reinterpretata in chiave pedagogica e integrata nei modelli di apprendimento attivo basati su esplorazione, riflessione e ricostruzione.

Definizione e ambito di applicazione del *reverse engineering*

Per RE si intende un processo sistematico volto a identificare la struttura, il funzionamento e le scelte progettuali di un sistema esistente in assenza della documentazione originaria[5]. In altre parole, si tratta di partire da un oggetto già realizzato, che sia un dispositivo elettronico, un software o una macchina, e procedere "a ritroso" per comprenderne come sia stato concepito e costruito. Un esempio intuitivo è l'osservazione di un orologio: aprirne la cassa, analizzare il movimento di ogni ingranaggio smontandolo, capire quale elemento trasmette la forza, quale regola la velocità e quale mantiene la sincronizzazione, fino a ricostruire l'intero meccanismo e le scelte progettuali sottese[6].

I metodi di RE trovano applicazione in diversi ambiti, dall'ingegneria meccanica all'elettronica e allo sviluppo software, permettendo di analizzare componenti, codici sorgente o circuiti per dedurne l'architettura logica e funzionale[7].

La letteratura individua inoltre una serie di obiettivi che guidano lo sviluppo e l'evoluzione di queste tecniche, in particolare nel contesto software:

- **Gestione della complessità** mediante l'estrazione di informazioni rilevanti e la loro rappresentazione in forma comprensibile;
- **Generazione di rappresentazioni alternative** (diagrammi, modelli concettuali) per migliorare la comprensione del sistema;

[4] Jonassen D. H., *Designing constructivist learning environments*, in Reigeluth C. M. (a cura di), *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory*, Vol. II, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah (NJ), 1999, pp. 215-239; Von Glasersfeld E., *Radical Constructivism: A Way of Knowing and Learning*, Falmer Press, London, 1995.

[5] Eilam E., *Reversing: Secrets of reverse engineering*, Wiley, Indianapolis, 2005. Secondo la definizione classica di Chikofsky e Cross, il RE è "*the process of analyzing a subject system to identify the system's components and their interrelationships, and create representations of the system in another form or at a higher level of abstraction*" Chikofsky E. J. e Cross J. H., *Reverse engineering and design recovery: A taxonomy*, "IEEE Software", 7 (1), 1990, pp. 13-17.

[6] Il termine ha origine nel contesto dell'analisi di sistemi hardware complessi, dove è pratica comune esaminare prodotti finiti per ricostruirne il funzionamento interno. Storicamente, questa tecnica è stata impiegata sia per migliorare prodotti propri sia per analizzare dispositivi della concorrenza o di potenziali avversari in contesti militari e di sicurezza nazionale. Si veda Eilam E., *Reversing: Secrets of reverse engineering*, cit. In ambito industriale, il RE viene comunemente utilizzato per molteplici finalità strategiche, tra cui l'analisi della concorrenza, l'interoperabilità, l'aggiornamento di sistemi legacy, il miglioramento di prodotti esistenti e la verifica di conformità.

[7] Liu Y., Tan R. e Yao S., *Software architecture recovery based on clustering techniques*, "Journal of Software Maintenance and Evolution", 19 (1), 2007, pp. 1-28; Al-Jarrah O., Ayesh A. e Kayed A., *Reverse engineering approach for software systems understanding*, "Journal of Software Engineering and Applications", 4 (1), 2011, pp. 39-47.

- **Recupero di conoscenze progettuali** perdute o mai formalizzate;
- **Individuazione di effetti collaterali e anomalie** derivanti da modifiche successive o progettazioni poco accurate;
- **Astrazione a livelli superiori** ovvero creare rappresentazioni concettuali del sistema meno legate all'implementazione tecnica, per facilitare l'analisi a un livello strategico;
- **Facilitazione del riuso** di componenti in contesti progettuali differenti.

In un contributo pionieristico, Rekoff definisce il RE come "*the process of developing a set of specifications for a complex hardware system by an orderly examination of specimens of that system*"[8], evidenziandone la natura sistematica e deduttiva. Dal punto di vista epistemologico, il RE si fonda su un approccio analitico-retrospettivo, articolato generalmente in tre fasi: osservazione del sistema, analisi funzionale delle sue parti e ricostruzione del progetto originario[9].

In linea con questa prospettiva, Jiménez et al.[10] sottolineano il carattere analitico-sintetico del processo, volto a produrre almeno un modello rappresentativo di un sistema le cui informazioni siano parziali o assenti.

Il reverse engineering in ambito didattico

L'insieme degli obiettivi appena descritti, sebbene elaborato in origine per il contesto industriale e in particolare per l'ingegneria del software, presenta significative potenzialità di trasposizione in ambito educativo.

La valenza pedagogica del RE risulta evidente se letta attraverso la lente del costruttivismo (Piaget[11], Vygotskij, von Glasersfeld) e del costruzionismo (Papert[12]). La costruzione attiva di significati, la dimensione sociale dell'apprendimento e l'importanza del conflitto cognitivo diventano elementi centrali per trasformare un'attività tecnica in un'esperienza formativa. L'alternanza di fasi analitiche e sintetiche consente agli studenti di passare da un ruolo di osservatori a quello di progettisti, consolidando l'apprendimento mediante

[8] Rekoff M. G., *On reverse engineering*, "IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics", 15 (2), 1985, pp. 244-252.

[9] Jackson D., *Software Abstractions: Logic, Language, and Analysis*, MIT Press, Cambridge (MA), 1996; Arnold R. e Bohm R., *A practical guide to reverse engineering*, Springer, Berlin, 2013.

[10] Jiménez J. et al., *Reverse Engineering: Definition and Procedures*, in *Reverse Engineering*, Springer, Berlin, 2013, pp. 25–40.

[11] Piaget J., *La formazione del simbolo nel bambino*, Laterza, Bari, 1970; Von Glasersfeld E., *Radical Constructivism: A Way of Knowing and Learning*, op.cit., p. 51.

[12] Papert S., *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*, Basic Books, New York, 1980; Harel I. e Papert S., *Constructionism*, Ablex, Norwood (NJ), 1991; Bruner J. S., *The Process of Education*, Harvard University Press, Cambridge (MA), 1961; Fosnot C. T., *Constructivism: Theory, Perspectives, and Practice*, Teachers College Press, New York, 1996; Jonassen D. H., *Designing constructivist learning environments*, op. cit.; Kafai Y. B., *Constructionism*, in Sawyer R. K. (a cura di), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006, pp. 35-46.

un processo riflessivo e iterativo[13]. Papert sottolinea inoltre l'importanza di costruire artefatti tangibili per dare forma alle idee. Come ricorda Jonassen[14], l'apprendimento può essere interpretato come un processo di risoluzione di problemi e di costruzione di senso: lo studente rielabora ciò che apprende interagendo con l'ambiente e confrontandosi con situazioni che mettono in discussione le sue conoscenze pregresse.

In questo quadro, il conflitto cognitivo, ovvero la discrepanza tra ciò che si crede di sapere e ciò che si osserva, diventa un elemento chiave per innescare la riorganizzazione concettuale. Come sottolinea von Glasersfeld, "*knowledge is not passively received but built up by the cognizing subject*"[15].

Nel contesto scolastico, applicare il RE significa invitare gli studenti a esaminare un robot, un dispositivo o un software, deducendone le logiche di funzionamento e formulando un modello esplicativo anche in assenza di documentazione. Questa attività innesca conflitti cognitivi (discrepanze tra conoscenze pregresse e osservazioni empiriche) che che fungono da motore per la riorganizzazione concettuale, stimolando processi di analisi, sintesi e astrazione di ordine superiore.

La gestione della complessità, la capacità di generare viste alternative, il recupero di informazioni mancanti e la sintesi di astrazioni di livello superiore sono processi cognitivi strettamente connessi alle competenze che la scuola mira a sviluppare negli studenti: pensiero critico, capacità di problem solving e metacognizione. Studi in ambito educativo hanno mostrato come il RE stimoli competenze analitiche e di problem solving, promuovendo la consapevolezza operativa, ossia la comprensione che ogni elemento di un sistema risponde a scelte progettuali intenzionali.

Nel campo della robotica educativa, l'osservazione diretta della relazione tra codice e comportamento del robot rende il processo di inferenza particolarmente efficace, permettendo agli studenti di alternare fasi di analisi e di creazione in un ciclo iterativo di apprendimento attivo[16].

Il RE rappresenta inoltre un'opportunità strategica per lo sviluppo di competenze trasversali[17]. L'analisi sistematica di un oggetto o sistema già realizzato richiede infatti che lo studente osservi, scomponga, formuli ipotesi e le verifichi in modo collaborativo, attivando processi cognitivi e sociali che trascendono la mera dimensione disciplinare[18].

[13] Papert S., *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*, op. cit.; Kafai Y. B., *Constructionism*, op. cit.

[14] Jonassen D. H., *Designing constructivist learning environments*, op. cit.

[15] Von Glasersfeld E., *Radical Constructivism: A Way of Knowing and Learning*, op.cit.

[16] Bers M. U., *Coding as a Playground: Programming and Computational Thinking in the Early Childhood Classroom*, Routledge, New York, 2018; Sullivan A. e Bers M. U., *Robotics in the early childhood classroom: Learning outcomes from an 8-week robotics curriculum in pre-kindergarten through second grade*, "International Journal of Technology and Design Education", 26 (1), 2016, pp. 3-20.

[17] OECD, *The Future of Education and Skills 2030*, OECD Publishing, Paris, 2018.

[18] Jiménez J. et al., *Reverse Engineering: Definition and Procedures*, in *Reverse Engineering*, op. cit.

In questo senso, il RE si collega direttamente a quelle abilità chiave che la ricerca educativa identifica come trasversali:

- **pensiero critico e problem solving,** necessari per interrogarsi sul funzionamento del sistema e proporre spiegazioni alternative[19];
- **collaborazione e comunicazione** poiché la ricostruzione delle logiche progettuali è favorita dal confronto di idee e dalla negoziazione di significati[20];
- **creatività e innovazione** perché l'analisi di un artefatto può condurre a proporre miglioramenti o a immaginare nuovi usi[21];
- **consapevolezza metacognitiva** che porta lo studente a riflettere sia sull'oggetto di studio sia sulle strategie adottate per comprenderlo[22].

Bers[23] evidenzia come la manipolazione di robot in contesti di apprendimento attivo stimoli capacità di pianificazione, autoregolazione e collaborazione, mentre Sullivan e Bers[24] dimostrano che attività di questo tipo incrementano la capacità dei bambini di spiegare i processi, formulare ipotesi e trasferire conoscenze a nuove situazioni. In tal senso, il RE si configura come una metodologia ponte tra l'acquisizione di conoscenze disciplinari e lo sviluppo di competenze trasversali: partendo da un oggetto concreto e già funzionante, lo studente impara non solo a comprenderne le logiche interne, ma anche a lavorare in gruppo, comunicare idee complesse, valutare criticamente soluzioni e riflettere sui propri processi di apprendimento, diventando un cittadino digitale pienamente proattivo.

Un concetto chiave in questo percorso è la consapevolezza operativa, intesa come la capacità di interpretare ciascun elemento come esito di una scelta progettuale finalizzata alla risoluzione di un problema. L'oggetto smette di essere percepito come una "scatola nera" che semplicemente funziona, e viene interpretato come il prodotto di decisioni intenzionali che implicano compromessi tra funzionalità, efficienza, costi e contesto d'uso[25]. Questa prospettiva critica permette all'utente di comprendere la logica sottostante all'artefatto, di valutarne i limiti e le potenzialità e, di conseguenza, di interagire

[19] Jonassen D. H., *Designing constructivist learning environments*, op. cit.; Facione P. A., *Critical Thinking: What It Is and Why It Counts*, Measured Reasons, Millbrae (CA), 2011.

[20] Kafai Y. B. e Resnick M. (a cura di), *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*, op. cit.; West R. E., Rich P. J. e Ward T. B., *Learning by (re)designing: Engineering reverse engineering for education*", op. cit.

[21] Harel I. e Papert S., *Constructionism*, op. cit.; Resnick M., *Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play*, MIT Press, Cambridge (MA), 2017.

[22] Flavell J. H., *Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry*, "American Psychologist", 34 (10), 1979, pp. 906–911; Schraw G. e Dennison R. S., *Assessing metacognitive awareness*, "Contemporary Educational Psychology", 19 (4), 1994, pp. 460-475.

[23] Bers M. U., *Coding as a Playground: Programming and Computational Thinking in the Early Childhood Classroom,* op.cit..

[24] Sullivan A. e Bers M. U., *Robotics in the early childhood classroom*, op. cit.

[25] West R. E., Rich P. J. e Ward T. B., *Learning by (re)designing: Engineering reverse engineering for education*, cit.

con esso in modo più efficace e intenzionale. Sviluppare tale consapevolezza trasforma l'utente da consumatore passivo a partecipante attivo del processo di design, capace di discernere non solo l'utilità di un oggetto, ma anche il "perché" della sua forma e del suo funzionamento, contribuendo anche alla formazione alla cittadinanza digitale: comprendere i meccanismi interni di un'applicazione mobile, di un social network o di un algoritmo, permette agli studenti di non essere semplici consumatori passivi, ma utenti consapevoli, capaci di valutare le implicazioni etiche e di privacy dei sistemi digitali che utilizzano quotidianamente.

Prendendo come esempio un robot educativo, i sensori a ultrasuoni soddisfano l'esigenza di rilevare ostacoli e garantire la navigazione, i motori sono dimensionati in relazione a peso e mobilità, e le istruzioni di codice traducono input ambientali in azioni. Come osservano West, Rich e Ward[26], il RE porta lo studente a passare da una comprensione superficiale («il robot si muove perché ha delle ruote») a una comprensione più profonda e riflessiva («le ruote hanno determinate dimensioni e sono collegate a motori di un certo tipo perché il robot deve muoversi su un terreno specifico, a una certa velocità, con un certo grado di stabilità»).

In questo passaggio risiede lo sviluppo della consapevolezza operativa, che trasforma l'analisi tecnica in riflessione critica sul rapporto tra bisogni, vincoli e scelte progettuali. In questo senso, ogni componente diventa una porta di accesso al pensiero progettuale: analizzarne la funzione significa risalire ai bisogni a cui risponde e, di conseguenza, comprendere meglio il processo decisionale che ha portato alla sua realizzazione[27].

Sviluppare questa consapevolezza significa trasformare l'analisi tecnica in riflessione critica sul rapporto tra bisogni, vincoli e scelte progettuali, facendo di ogni componente una porta di accesso al pensiero progettuale e un'occasione per l'apprendimento autentico.

Parallelismo tra processi mentali e reverse engineering

Un ulteriore livello di approfondimento del concetto di consapevolezza operativa riguarda il parallelismo tra RE e processi mentali retrospettivi. Così come il RE analizza un artefatto per risalire alle scelte progettuali che lo hanno generato, allo stesso modo il pensiero umano spesso procede "a ritroso" per ricostruire le logiche sottese ad azioni, decisioni o fenomeni osservabili. In psicologia cognitiva, questo processo è vicino all'*inference making* e al *reasoning backward*: l'individuo osserva un esito e cerca di dedurne le condizioni iniziali o le intenzioni che lo hanno prodotto.

Nell'educazione scientifica e tecnologica, ciò si traduce nella richiesta agli studenti non solo di riprodurre un comportamento osservato, ma di spiegarne

[26] Ivi.

[27] Kafai Y. B. e Resnick M. (a cura di), *Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World*, op.cit.; West R. E., Rich P. J. e Ward T. B., *Learning by (re)designing: Engineering reverse engineering for education*, op. cit.

le cause, individuando le regole o le istruzioni da cui deriva[28]. Dal punto di vista epistemologico, questo parallelismo mette in luce come l'analisi retrospettiva sia parte integrante della costruzione della conoscenza perché aiuta a costruire le relazioni logiche che danno senso ai fenomeni. In questo senso, il RE diventa una metafora operativa: partire dal prodotto finito (il fenomeno) per risalire alle strutture che lo generano (le regole progettuali o cognitive).

Trasposto in contesto didattico, ciò significa che lo studente, osservando il comportamento di un robot o l'output di un programma, esercita una forma di *reverse reasoning*: formula ipotesi sulle intenzioni o istruzioni implicite, le verifica sperimentalmente, e infine ricostruisce un modello esplicativo. Tale pratica non solo favorisce la comprensione tecnica, ma stimola la capacità di riflettere sui propri stessi processi mentali, riconoscendo che ogni azione, umana o artificiale, è il risultato di una sequenza intenzionale di scelte[29].

La robotica educativa come contesto ideale per il reverse engineering

La robotica educativa offre un contesto privilegiato per l'applicazione del RE, poiché rende immediata e osservabile la relazione tra codice e comportamento. Ogni istruzione programmata produce un output tangibile – un movimento, un suono, un'interazione – che permette agli studenti di collegare direttamente le istruzioni astratte a conseguenze concrete.

Questa caratteristica rende la robotica un terreno privilegiato per pratiche di RE didattico: lo studente può osservare un comportamento del robot, formulare ipotesi sul codice che lo determina, confrontarle con il programma effettivo e infine proporre modifiche o nuove soluzioni. Il ciclo di osservazione → ipotesi → verifica → ricostruzione. L'esperienza diretta, unita al feedback immediato del robot, favorisce l'apprendimento per tentativi, stimola competenze analitiche, metacognitive e progettuali, la correzione autonoma degli errori ponendo lo studente al centro di un processo di apprendimento attivo e riflessivo[30].

Un ulteriore vantaggio della robotica educativa è la sua dimensione multimodale: i robot combinano componenti meccanici (ruote, motori, ingranaggi), elettronici (sensori, attuatori) e digitali (codice), offrendo agli studenti la possibilità di esplorare più livelli di complessità.

Attraverso il RE, gli studenti collegano questi livelli di complessità e sviluppano una comprensione sistemica, che abbraccia l'intero ecosistema progettuale.

La letteratura mostra che attività di questo tipo non solo potenziano le competenze tecnico-scientifiche, ma anche quelle trasversali: collaborazio-

[28] Johnson-Laird P. N., *Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness*, Harvard University Press, Cambridge (MA), 1983; Jonassen D. H., *Designing constructivist learning environments*, in Reigeluth C. M. (a cura di), *Instructional-Design Theories and Models: A New Paradigm of Instructional Theory*, Vol. II, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah (NJ), 1999, pp. 215-239.

[29] Flavell J. H., *Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry*, "American Psychologist", 34 (10), 1979.

[30] Papert S., *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*, op. cit. e Harel I. e Papert S., *Constructionism*, op. cit.

ne, comunicazione, pensiero critico[31]. Lavorando in gruppo per analizzare e modificare il comportamento del robot, gli studenti apprendono a negoziare significati, a distribuire compiti e a condividere strategie.

Infine, la robotica educativa consente di attivare il principio costruttivista secondo cui la conoscenza si consolida quando è collegata a esperienze concrete e significative per lo studente. L'osservazione diretta di un robot che "risponde" ai comandi programmati offre un feedback immediato, che rafforza l'apprendimento e permette di correggere in tempo reale le ipotesi formulate.

Progettazione del percorso didattico

Il laboratorio si è svolto in una classe 2ª dell'Istituto Comprensivo "Confalonieri" di Milano. L'attività è stata pensata e progettata in modo specifico per il gruppo classe, tenendo conto delle sue caratteristiche peculiari, sia in termini cognitivi che relazionali.

La classe è composta da 22 alunni, con un background socio-economico per lo più medio-alto, con studenti che dimostrano una buona autonomia operativa, capacità di astrazione e disponibilità alla collaborazione e un atteggiamento positivo nei confronti delle attività didattiche, in particolare di quelle a carattere laboratoriale e creativo.

Il contesto scolastico è dotato di buone infrastrutture tecnologiche, che includono dispositivi digitali individuali e una connessione stabile, oltre alla disponibilità di kit per la robotica educativa. Ciò ha permesso l'organizzazione di un percorso centrato sul learning by doing.

Il laboratorio si è articolato in diverse fasi operative, ciascuna delle quali è stata supportata da una scelta intenzionale degli spazi didattici e delle strumentazioni, in linea con gli obiettivi formativi e metodologici del percorso:

Fase 1	Osservazione guidata e costruzione inferenziale, con raccolta di dati e formulazione di ipotesi sul codice che ne regola il funzionamento	Aula immersiva del plesso scolastico, ampia e idonea allo svolgimento di attività dinamiche e dimostrative. La presenza di lavagna interattiva multimediale ha consentito la proiezione condivisa di contenuti digitali funzionali alla comprensione delle istruzioni di base e alla visualizzazione collettiva delle consegne.
Fase 2	Analisi del robot smontato	Aula STEM, attrezzata per lo svolgimento di attività manipolative, progettuali e cooperative, particolarmente adatto alla scomposizione fisica del robot e all'analisi delle sue componenti strutturali. Aula informatica, dove ogni gruppo di studenti ha avuto accesso a una postazione dotata di computer connesso alla rete. Questo ha consentito la realizzazione di elaborati multimediali favorendo l'integrazione tra competenze digitali, espositive e riflessive.
Fase 3	Metacognizione e riflessione individuale	Aula ordinaria della classe, contesto didattico familiare che ha facilitato un momento di rielaborazione condivisa

[31] Resnick M., *Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play*, op. cit.

L'alternanza calibrata tra ambienti didattici diversificati e la disponibilità di tecnologie adeguate hanno rappresentato fattori determinanti per la riuscita del laboratorio, rendendo possibile un'organizzazione flessibile e funzionale delle attività, e favorendo un approccio autenticamente laboratoriale e integrato all'apprendimento.

Fase 1 – Osservazione guidata e costruzione inferenziale

La prima fase del percorso laboratoriale, denominata "Osservazione guidata e deduzione", ha avuto l'obiettivo di avviare gli studenti all'analisi del comportamento del robot a partire da una prospettiva fenomenologica, favorendo la formulazione di ipotesi, la costruzione di modelli mentali e l'attivazione di processi inferenziali. Tale fase si è articolata in quattro attività distinte, condotte secondo una progressione che ha guidato gradualmente gli studenti dalla registrazione descrittiva dell'esperienzaosservativa alla concettualizzazione astratta e alla riflessione metacognitiva.

Attività 1 – Osservazione del robot in azione (30 minuti)

La prima attività ha avuto come finalità la stimolazione di ipotesi sul funzionamento interno del robot attraverso l'osservazione diretta del suo comportamento esterno. Gli studenti, riuniti in piccoli gruppi, hanno osservato un robot (CODERBOT®) previamente programmato per evitare ostacoli mediante l'utilizzo di sensori. Durante la dimostrazione, i docenti non hanno fornito spiegazioni tecniche, lasciando spazio alla libera interpretazione.

Scheda di Osservazione – Come funziona il robot?

Nomegruppo:_____ Data:_____

Istruzioni:
1. Osserva cosa succede nell'ambiente intorno al robot.
2. Scrivi cosa fa il robot in risposta a quella situazione.
3. Prova a immaginare perché si è comportato così: cosa può aver "visto", "sentito" o "capito"?

Situazione ambientale	Comportamento del robot	Ipotesi sul perché (cosa ha "pensato" il robot?)

Fig. 1 – Scheda di osservazione

Gli alunni sono stati invitati a prendere appunti su una scheda di osservazione strutturata (Figura 1), focalizzando l'attenzione su tre elementi fondamentali: la situazione ambientale (es. presenza di un ostacolo, prossimità a un muro); il comportamento del robot (es. avanzamento, arresto, deviazione laterale); l'ipotesi esplicativa (ovvero, cosa "ha percepito" o "deciso" il robot in quella situazione). Le osservazioni e le ipotesi emerse sono state annotate dai docenti su una presentazione condivisa tramite LIM, evitando deliberatamente ogni forma di correzione o giudizio immediato, per valorizzare il pensiero spontaneo e creativo degli studenti.

Attività 2 – Discussione guidata e formulazione di modelli mentali

A seguito dell'osservazione, la seconda attività ha assunto la forma di una discussione guidata condotta in plenaria. L'obiettivo è stato quello di favorire la costruzione di modelli mentali esplicativi del comportamento del robot, sollecitando un confronto tra le diverse ipotesi formulate dai gruppi.

Il docente ha stimolato il dialogo attraverso domande aperte e riflessive, quali: "Che cosa avete osservato?"; "Cosa fa cambiare direzione al robot?"; "Perché si comporta in quel modo?"; "Che cosa pensate che ci sia scritto nel suo codice?"; "Quale potrebbe essere la logica di programmazione sottostante?" Questa attività ha avuto un ruolo cruciale nella transizione dall'osservazione empirica alla rappresentazione astratta del comportamento programmato, facilitando l'emergere di inferenze condivise e l'adozione di un linguaggio tecnico emergente.

Attività 3 – Costruzione di mappe logiche (15 minuti)

In un terzo momento, agli studenti è stato chiesto di rappresentare in forma visiva la relazione causale tra input sensoriali, elaborazione del codice e comportamento osservabile del robot. L'attività aveva lo scopo di esplicitare la sequenza logica input → elaborazione → output, aiutando gli studenti a concettualizzare la struttura computazionale alla base delle azioni del robot.

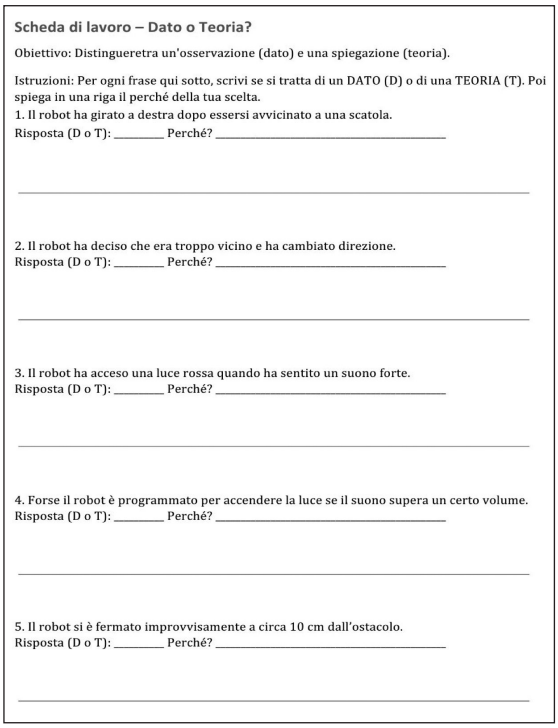
Ogni gruppo ha selezionato un comportamento osservato nella fase precedente (es. deviazione in presenza di ostacolo) e lo ha scomposto logicamente secondo il modello causa-effetto. Le rappresentazioni sono state realizzate su schede o cartelloni A3, impiegando frecce, tabelle o altre forme grafiche, con il supporto di pennarelli, post-it e materiali visivi di esempio proiettati alla lavagna. I docenti hanno fornito un modello iniziale semplificato (es. "sensore rileva ostacolo → distanza troppo ravvicinata → gira a sinistra") e accompagnato l'attività con domande guida ("Cosa ha sentito il robot?", "Cosa ha fatto dopo?"), rafforzando la comprensione della relazione tra percezione, elaborazione e azione.

Attività 4 – Dato o teoria? (15-20 minuti)

A conclusione della fase, è stata proposta un'attività riflessiva denominata "Dato o teoria?", finalizzata a distinguere tra osservazione empirica

(dato) e inferenza interpretativa (teoria). Partendo dalle frasi raccolte durante le attività precedenti, il docente ha presentato agli studenti una scheda collettiva contenente affermazioni da classificare (Figura 2).

Per ciascuna frase (es. "Il robot ha girato a destra dopo essersi avvicinato a una scatola"; "Il robot ha deciso che era troppo vicino e ha cambiato direzione"), gli studenti dovevano indicare se si trattasse di un dato (D) o di una teoria (T) e motivare brevemente la propria scelta. L'attività ha avuto un'importante valenza metacognitiva, favorendo la consapevolezza della distinzione tra ciò che si osserva e ciò che si ipotizza, e promuovendo la capacità argomentativa all'interno del gruppo e in plenaria. Le discussioni che ne sono scaturite hanno costituito un momento di chiarificazione concettuale e di consolidamento del linguaggio scientifico.



Scheda di lavoro – Dato o Teoria?

Obiettivo: Distingueretra un'osservazione (dato) e una spiegazione (teoria).

Istruzioni: Per ogni frase qui sotto, scrivi se si tratta di un DATO (D) o di una TEORIA (T). Poi spiega in una riga il perché della tua scelta.

1. Il robot ha girato a destra dopo essersi avvicinato a una scatola.
Risposta (D o T): _____ Perché? _____

2. Il robot ha deciso che era troppo vicino e ha cambiato direzione.
Risposta (D o T): _____ Perché? _____

3. Il robot ha acceso una luce rossa quando ha sentito un suono forte.
Risposta (D o T): _____ Perché? _____

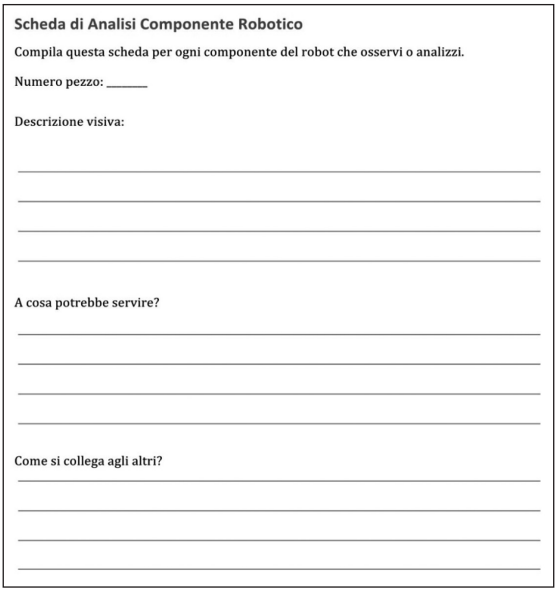
4. Forse il robot è programmato per accendere la luce se il suono supera un certo volume.
Risposta (D o T): _____ Perché? _____

5. Il robot si è fermato improvvisamente a circa 10 cm dall'ostacolo.
Risposta (D o T): _____ Perché? _____

Fig. 2 – Scheda di lavoro: dato o teoria?

Fase 2 – Analisi a tavolino del robot smontato

La seconda fase del laboratorio, denominata "Analisi a tavolo del robot smontato", è stata finalizzata a promuovere la comprensione strutturale e funzionale del robot attraverso un'attività *hands-on* di carattere esplorativo e ricostruttivo (Figura 3).



Scheda di Analisi Componente Robotico

Compila questa scheda per ogni componente del robot che osservi o analizzi.

Numero pezzo: _____

Descrizione visiva:

A cosa potrebbe servire?

Come si collega agli altri?

Fig. 3 – Scheda di analisi dei componenti

L'obiettivo pedagogico di questa fase è stato triplice: riconoscere le principali componenti fisiche di un robot; comprendere la funzione specifica di ciascun elemento in termini di input, elaborazione e output; allenare il pensiero sistemico e la capacità di analisi causale.

Attività 1 – Analisi funzionale e ricostruzione della struttura interna (circa 40 minuti)

L'attività si è aperta con un'introduzione a cura dei docenti, che hanno esplicitato lo scopo dell'intervento: "Comprendere come funziona dentro un robot, osservando e interpretando le sue componenti hardware e le relazioni tra di esse".

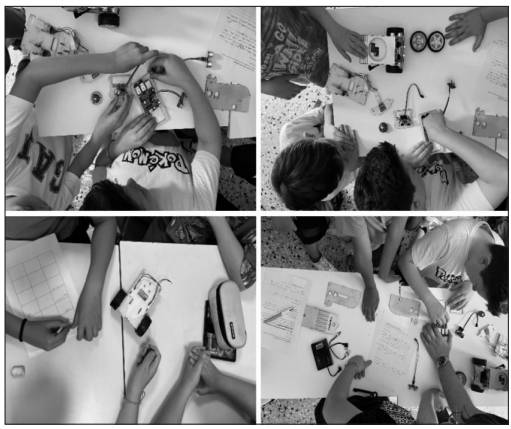


Fig. 4 – Analisi del robot smontato

Ad ogni gruppo è stato consegnato un kit di componenti fisici (reali o stampati) e una scheda di analisi funzionale (Figura 4), pensata per guidare l'osservazione e la riflessione su ciascun elemento del robot. La scheda prevedeva i seguenti campi: numero del pezzo; descrizione visiva; funzione ipotizzata; connessioni con altri elementi; modalità di verifica dell'ipotesi.

I gruppi hanno quindi svolto un lavoro di tipo analitico e ricostruttivo, finalizzato alla produzione di una mappa funzionale dell'intero sistema robotico. Su un cartellone o foglio A3, i componenti sono stati organizzati graficamente secondo una logica sistemica, evidenziando i flussi di informazione e di energia con frecce, etichette, cavi colorati e simbologie funzionali (input → elaborazione → output).

Durante l'intera attività, i docenti hanno assunto un ruolo di facilitatori epistemologici, circolando tra i gruppi e ponendo domande guida quali: "Cosa fa questo pezzo?"; "A chi invia segnali?"; "Da dove riceve energia?"; "Come si integra nel sistema complessivo?".

Le ipotesi formulate sono state valorizzate come occasioni di confronto e sviluppo del pensiero critico, evitando giudizi prematuri e incoraggiando la condivisione di punti di vista differenti.

I gruppi sono stati suddivisi per area funzionale del robot:

Gruppo 1 – Sensori: 4 kit contenenti sensori a ultrasuoni e cavi di collegamento;

Gruppo 2 – Locomozione: motori, ruote e cavi USB per l'alimentazione (kit n. 7, 10, 11, 12);

Gruppo 3 – Elaborazione: unità centrale Raspberry Pi Model B 3 con cavo di alimentazione (kit n. 1/6);

Gruppo 4 – Visione: modulo videocamera e cavo piatto (kit n. 5);
Gruppo 5 – Energia: batteria al litio con cavo di ricarica (kit n. 3 e n. 8).

I prodotti di questa prima attività sono stati cartelloni esplicativi in formato A3, corredati di componenti ritagliabili o reali; frecce e fili colorati per evidenziare connessioni; etichette per indicare funzioni e flussi.

Attività 2 – Presentazione e discussione collettiva dei sistemi robotici

La seconda attività ha avuto una funzione di consolidamento e validazione collettiva. Ogni gruppo ha presentato il proprio schema ricostruttivo agli altri, utilizzando un supporto visivo (presentazione PowerPoint o esposizione su cartellone) proiettato tramite LIM (Figura 5).

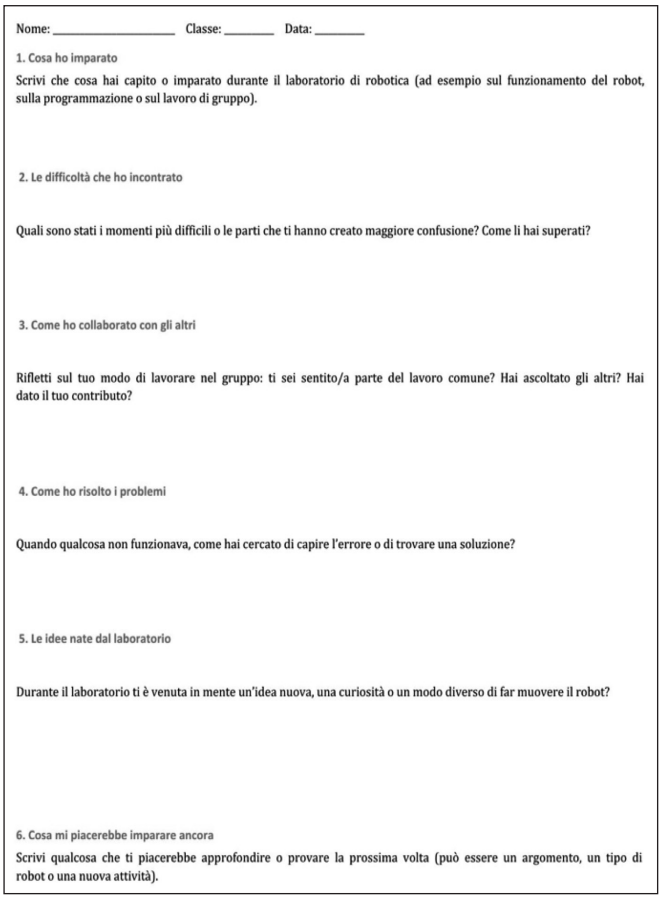
Questa fase ha permesso di: confrontare modelli ricostruttivi e verificarne la coerenza funzionale; esplicitare i nessi causali tra le componenti; argomentare le ipotesi formulate, confrontandole con quelle degli altri gruppi; rafforzare la visione sistemica, rendendo visibili le interdipendenze tra input sensoriali, elaborazione interna e risposta motoria o visiva del robot. I docenti hanno guidato la discussione stimolando il dialogo tra pari, favorendo l'uso di linguaggi tecnici emergenti e incoraggiando la riflessione metacognitiva sul percorso seguito: "Come siamo arrivati a questa ipotesi?", "Come possiamo verificarla?", "Cosa abbiamo capito del funzionamento interno del robot?". Questa fase ha rappresentato un momento chiave per lo sviluppo del pensiero computazionale in chiave sistemica, attraverso la modellizzazione visiva e la negoziazione di significati condivisi.

Fig. 5 – Presentazione dei sistemi robotici

Fase 3 – Metacognizione e riflessione individuale

A conclusione del percorso laboratoriale, è stata prevista una quarta fase, dedicata alla riflessione metacognitiva, finalizzata a promuovere consapevolezza nei ragazzi rispetto ai processi di apprendimento vissuti. In questa fase è stata somministrata una scheda metacognitiva individuale (Figura 6), pensata per stimolare negli studenti la capacità di autoanalisi, la verbalizzazione delle difficoltà incontrate, la valutazione della propria partecipazione al lavoro di gruppo e

l'individuazione di strategie risolutive adottate. La scheda, strutturata in sei sezioni, guida gli studenti a riflettere su ciò che hanno imparato, sulle difficoltà affrontate, sulla qualità della collaborazione nel gruppo e sulla capacità di affrontare problemi. Include anche uno spazio per raccogliere idee personali nate dall'esperienza e per esprimere desideri o interessi futuri in ambito robotico. Questa fase si è rivelata particolarmente utile per consolidare l'apprendimento, rafforzare la motivazione intrinseca e potenziare l'autoregolazione cognitiva degli alunni.



Nome: _____ Classe: _____ Data: _____

1. Cosa ho imparato

Scrivi che cosa hai capito o imparato durante il laboratorio di robotica (ad esempio sul funzionamento del robot, sulla programmazione o sul lavoro di gruppo).

2. Le difficoltà che ho incontrato

Quali sono stati i momenti più difficili o le parti che ti hanno creato maggiore confusione? Come li hai superati?

3. Come ho collaborato con gli altri

Rifletti sul tuo modo di lavorare nel gruppo: ti sei sentito/a parte del lavoro comune? Hai ascoltato gli altri? Hai dato il tuo contributo?

4. Come ho risolto i problemi

Quando qualcosa non funzionava, come hai cercato di capire l'errore o di trovare una soluzione?

5. Le idee nate dal laboratorio

Durante il laboratorio ti è venuta in mente un'idea nuova, una curiosità o un modo diverso di far muovere il robot?

6. Cosa mi piacerebbe imparare ancora

Scrivi qualcosa che ti piacerebbe approfondire o provare la prossima volta (può essere un argomento, un tipo di robot o una nuova attività).

Fig. 6 – Riflessione metacognitiva

Valutazione formativa: osservare i processi per promuovere consapevolezza

La valutazione all'interno del laboratorio di robotica è stata concepita come parte integrante del processo di apprendimento, con una forte impronta formativa e orientata allo sviluppo della consapevolezza metacognitiva. Lontana da una logica sommativa e certificativa, l'azione valutativa si è strutturata attraverso strumenti capaci di rilevare tanto gli aspetti processuali quanto i prodotti finali elaborati dai gruppi di lavoro.

La valutazione di processo ha accompagnato le diverse fasi dell'attività laboratoriale, osservando indicatori specifici relativi alla partecipazione attiva, alla cooperazione, alla gestione autonoma delle attività, alla capacità di formulare ipotesi, risolvere problemi e interagire in modo critico con gli strumenti digitali e materiali messi a disposizione.

Gli insegnanti hanno utilizzato rubriche descrittive (Tabella 1) per raccogliere evidenze puntuali, documentando in modo sistematico il comportamento e le strategie adottate dagli studenti durante il lavoro collaborativo.

Area osservata	Descrizione del comportamento atteso	Livello base	Livello intermedio	Livello avanzato
Partecipazione	Partecipa attivamente alle attività, collabora con il gruppo	Raramente partecipa o si distrae	Partecipa su stimolo	Partecipa in modo costante e propositivo
Osservazione e deduzione	Osserva i comportamenti del robot e formula ipotesi sensate	Fa osservazioni generiche o imprecise	Coglie alcuni elementi significativi	Descrive accuratamente azioni e condizioni, formula ipotesi logiche
Modellizzazione logica	Rappresenta in modo visivo la logica robotica (input → elaborazione → output)	Fatica a rappresentare le sequenze	Comprende il meccanismo ma lo rappresenta in modo parziale	Rappresenta correttamente sequenze causa-effetto con chiarezza
Collaborazione	Lavora in modo cooperativo, ascolta e rispetta i turni di parola	Partecipa poco o tende a imporsi	Collabora ma fatica nel confronto	Contribuisce in modo equo e costruttivo
Riflessione critica	Distingue tra dato e teoria e argomenta le proprie ipotesi	Non distingue i livelli o si limita a riportare	Riconosce alcuni casi e li argomenta con guida	Argomenta autonomamente e distingue chiaramente osservazione e interpretazione

Tabella 1 – Valutazione del processo (osservazione diretta durante il laboratorio)

Parallelamente, è stata prevista una valutazione del prodotto finale, riferita agli elaborati digitali e grafici realizzati dai gruppi. Nello specifico, la presentazione multimediale e la scheda tecnica dedicata al funzionamento di un componente del robot sono state analizzate secondo criteri di accuratezza dei contenuti, coerenza logica, chiarezza comunicativa, correttezza terminologica e capacità di rappresentare in modo efficace le relazioni tra input, elaborazione e output. Tali criteri sono stati anch'essi declinati in descrittori osservabili, finalizzati a rendere trasparente la valutazione e orientare il feedback (Tabella 2).

Prodotto valutato	Criteri	Livello base	Livello intermedio	Livello avanzato
Presentazione in PPT	Chiarezza espositiva e organizzazione dei contenuti	Slide disordinate o incomplete	Slide leggibili ma con struttura parziale	Slide ordinate, chiare e ben sequenziate
	Correttezza tecnica dei contenuti (descrizione componenti, collegamenti)	Contenuti imprecisi o superficiali	Contenuti sostanzialmente corretti ma non approfonditi	Contenuti corretti, con esempi chiari e dettagli tecnici
	Uso di immagini, schemi, evidenze visive	Pochi elementi visivi o incoerenti	Immagini coerenti ma non sempre funzionali	Uso efficace di immagini e schemi per supportare l'esposizione
Scheda "funzionamento del pezzo e collegamenti"	Descrizione del componente assegnato	Descrizione vaga o errata	Descrizione corretta ma semplificata	Descrizione dettagliata, con terminologia tecnica adeguata
	Collegamenti con gli altri componenti	Non identifica i collegamenti	Riconosce alcune relazioni funzionali	Identifica con precisione input/output e relazioni con altri pezzi

Tabella 2 – Valutazione dei prodotti finali

Esempi di pensiero emergenti

Dall'osservazione dei comportamenti del robot e dalle relative trascrizioni, emergono forme di attribuzione di intenzionalità e mentalizzazione in cui gli studenti interpretano le azioni del robot in termini quasi antropomorfici: "*il robot come un essere umano ha intuito il pericolo e l'ha evitato"; "gli ostacoli sono messi apposta per capire le sue reazioni"; "gli ci vuole un po' per capire ciò a cui sta andando addosso*". Queste espressioni mostrano come i ragazzi tendano a proiettare sul robot processi cognitivi e intenzionali, interpretando il suo comportamento non solo come risposta meccanica, ma come risultato di una forma di "pensiero" o "comprensione". Ciò è coerente con studi sulla tendenza dei bambini ad attribuire stati mentali ai robot.[32] Inoltre, si osserva l'emergere di spiegazioni che legano l'azione del robot al contesto ambientale, evidenziando la comprensione che il comportamento non è isolato ma dipende dalle condizioni esterne ("*si muove lento e cambia direzione per non sbattere*").

[32] Manzi F., Peretti G. et al., *How socio-cultural context shapes children's understanding of robots' mental states*, "International Journal of Social Robotics", 12 (5), 2020, pp. 1225-1237; Kahn P. H. Jr., Gary H. E. et al., *The emergence of morality in young children's interactions with robots*, "IEEE Transactions on Autonomous Mental Development", 4 (3), 2012, pp. 187-197.

Ragionamenti logici attivati

Accanto alla proiezione di intenzionalità, i dati mostrano lo sviluppo di ragionamenti logico-deduttivi, in cui gli studenti cercano di spiegare il comportamento del robot ricorrendo a inferenze funzionali: "si accende una luce, la macchina gira → rileva un qualcosa di solido"; "va piano per cercare di capire dove sono gli ostacoli"; "adesso sta iniziando a girare davanti agli ostacoli perché non lo vede o percepisce". Questi esempi indicano l'attivazione di competenze analitiche tipiche del RE: osservazione del fenomeno, formulazione di ipotesi sulle logiche operative (sensori, percezione, rilevamento), confronto con il comportamento atteso. Si tratta di forme di ragionamento causale (A → B) e di costruzione di modelli mentali che permettono allo studente di spiegare il funzionamento del robot in termini di relazioni input–output.

Valore pedagogico, limiti e potenzialità

Il RE applicato alla robotica educativa si rivela un approccio didattico capace di generare un ambiente di apprendimento ricco e stimolante. I dati mostrano che gli studenti alternano spiegazioni di tipo tecnico-funzionale a interpretazioni più antropomorfiche, attribuendo al robot intenzioni e stati mentali. Questo duplice registro non va letto come un ostacolo, ma come una risorsa: la dimensione antropomorfica facilita l'ingaggio emotivo e narrativo, mentre il ragionamento logico-deduttivo favorisce la comprensione delle relazioni input–output. In questo senso, il RE promuove una forma di apprendimento che integra il piano cognitivo, metacognitivo e socio-relazionale. Attraverso la sequenza osservazione → analisi → ipotesi → verifica → ricostruzione, lo studente sviluppa consapevolezza operativa, ovvero la capacità di riconoscere che ogni comportamento osservato deriva da scelte progettuali mirate. Questo stimola la riflessione critica e rende l'artefatto tecnologico un vero e proprio strumento epistemico, capace di rendere visibili le logiche nascoste dietro la progettazione. La robotica educativa, con la sua immediatezza nel tradurre il codice in comportamento, rappresenta un contesto ideale per questo tipo di percorso: permette di sperimentare direttamente le conseguenze delle ipotesi formulate e di condividere in gruppo spiegazioni e modelli, attivando competenze trasversali come pensiero critico, problem solving, collaborazione e comunicazione. In questo modo, il RE diventa un ponte naturale tra l'acquisizione di competenze STEM e lo sviluppo di abilità di cittadinanza attiva.

Implicazioni per la scuola del futuro

Il presente progetto ha messo in luce il potenziale del RE come metodologia didattica innovativa nel contesto della robotica educativa. L'analisi dei comportamenti degli studenti mostra come il RE favorisca non solo la comprensione tecnica dei sistemi, ma anche la costruzione di modelli interpretativi che intrecciano dimensioni logiche e intuitive. Il valore di questo approccio risiede nella sua capacità di stimolare processi di riflessione retrospettiva: a

partire da un artefatto già funzionante, gli studenti imparano a ricostruire le logiche sottostanti, sviluppando consapevolezza operativa, pensiero critico e capacità di trasferire quanto appreso a contesti diversi. La robotica educativa si configura così come un laboratorio privilegiato per il RE, in cui l'osservazione diretta, la sperimentazione attiva e la collaborazione di gruppo creano le condizioni per un apprendimento autentico e significativo.

Guardando al futuro, il RE applicato alla didattica offre almeno tre implicazioni chiave per la scuola contemporanea. La prima può essere chiamata "*Verso una didattica della complessità*": gli studenti imparano a leggere i sistemi tecnologici come reti di relazioni e scelte progettuali, sviluppando competenze di pensiero sistemico necessarie per affrontare le sfide del XXI secolo; la seconda "*Tecnologia come strumento epistemico*": i robot e gli artefatti digitali non sono più semplici oggetti da usare, ma diventano mediatori cognitivi che permettono di esplorare il rapporto tra bisogni, vincoli e soluzioni; la terza "*Nuovi scenari di cittadinanza digitale*": la capacità di decostruire e ricostruire sistemi tecnologici si traduce in una maggiore autonomia, senso critico e responsabilità nell'uso delle tecnologie.

In questa prospettiva, il RE non è soltanto un metodo per insegnare a "capire come funzionano le cose", ma una via per educare a pensare, a progettare e a immaginare. La scuola del futuro potrà valorizzarlo come approccio integrato, capace di unire rigore analitico, creatività progettuale e sviluppo di competenze trasversali, preparando gli studenti non solo a interagire con le tecnologie, ma a diventarne protagonisti critici e innovatori.