

INTELLIGENZA ARTIFICIALE E EDUCAZIONE: UN INCONTRO TRA DUE MONDI. RISCHI E OPPORTUNITÀ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND EDUCATION:
AN ENCOUNTER BETWEEN TWO WORLDS. RISKS AND OPPORTUNI-
TIES

LORENZO CESARETTI ¹

1. Che cos'è l'Intelligenza Artificiale e che cosa significa *machine learning*

Viviamo in un mondo sempre più connesso e permeato da tecnologie e dispositivi digitali. Come proposto da Luciano Floridi² non ha più senso neanche chiedersi se siamo online (connessi) o offline (disconnessi), in quanto la pervasività raggiunta dai dispositivi ci permette di vivere *onlife*: il digitale fa parte dell'esperienza quotidiana, non potendo più essere distinto né tantomeno separato dalla realtà che percepiamo e con cui interagiamo.

All'interno di questa vita *onlife* sta assumendo un ruolo predominante l'Intelligenza Artificiale (o *Artificial Intelligence*, spesso abbreviata in AI), alla base di tante piattaforme tecnologiche che permettono di espletare le più disparate attività. Si pensi ad esempio a *Amazon.com*, famosissimo sito web di e-commerce che "studia" le nostre abitudini e i nostri acquisti online così da proporre la sezione "Consigliato per te", contenente prodotti di nostro potenziale interesse;

come non citare *Facebook* uno dei più famosi *social network* utilizzato in tutto il mondo: il suo *feed* (cioè la bacheca contenente post e notizie) viene costantemente modificato sulla base delle nostre interazioni, ossia dei nostri *like*, dei nostri commenti e delle nostre visualizzazioni; il più utilizzato motore di ricerca, *Google*, oltre a permetterci di trovare nello sconfinato mondo del web le informazioni di nostro interesse, personalizza i messaggi marketing e le pubblicità che vediamo durante la nostra navigazione sulla base dei gusti, delle esperienze e della conoscenza estrapolata nel corso del nostro utilizzo di tutti gli strumenti della famiglia *Google*.

I comportamenti "intelligenti" mostrati dalle piattaforme appena citate sono ottenuti proprio grazie ad algoritmi di Intelligenza Artificiale. Ma che cosa si intende per AI e come può essere definita in termini più rigorosi? John McCharty, tra i padri fondatori dell'AI, propone questa definizione: «[L'Intelligenza Artificiale] È la scienza e

RIASSUNTO

L'Intelligenza Artificiale (AI) sta diventando sempre più pervasiva nella nostra società: la maggior parte delle applicazioni tecnologiche commerciali utilizzate quotidianamente sfruttano queste tecniche per ottimizzare l'esperienza degli utenti, e si stanno facendo investimenti molto consistenti per mettere a punto sistemi che possano reagire ed adattarsi in tempo reale ai diversi comportamenti dei fruitori. Nel mondo dell'educazione non c'è ancora un utilizzo diffuso di tali tecniche: in questo contributo verranno presentate alcune sperimentazioni dell'AI nel mondo della didattica, facendo emergere vantaggi e difficoltà dell'adozione di questi approcci a scuola. In particolare verranno analizzate due esperienze condotte dall'Autore, che si collocano nei due principali filoni dell'uso dell'AI a scuola: da un lato l'AI come oggetto di studio da parte degli studenti, che si trasformano in progettisti di sistemi AI e in questo modo si rendono consapevoli dei principali meccanismi utilizzati dalle moderne piattaforme tecnologiche per analizzare i nostri comportamenti e i nostri gusti; dall'altro l'AI come strumento per migliorare l'azione didattica, fornendo agli insegnanti dettagli significativi e utili (ottenuti grazie a tecniche di *machine learning*) del processo risolutivo messo in atto dagli studenti durante attività di Robotica Educativa. Se con la prima esperienza si è tentato di educare

gli alunni ad un uso etico dell'AI, cercando di formare cittadini consapevoli rispetto agli algoritmi AI già molto diffusi in ogni aspetto della nostra quotidianità, con la seconda si è tentato di sfruttare le potenzialità delle tecniche *machine learning* per facilitare i docenti nell'analisi del processo di *problem-solving* dei discenti (e quindi comprendere meglio gli studenti che si hanno in classe così da personalizzare la proposta formativa).

Parole chiave

Intelligenza Artificiale, educazione, *machine learning*, tecnologie didattiche, scuola, futuro.

SUMMARY

Artificial Intelligence (AI) is becoming ever more pervasive in our society. Most commercial technological applications in daily use take advantage of these techniques to optimize user experience, and heavy investments are being made to refine systems that can react and adapt to users' behaviours in real time.

These techniques are still not widely used in the educational world. This essay will present several AI experiments in teaching, highlighting the advantages and difficulties in adopting these approaches in school. In particular, two experiments conducted by the author will be analysed, which are situated in the two main strands of AI in schools. One is AI as an object of study by students, who become AI system designers, and so become aware of the principal mechanisms utilized by modern technological platforms to analyse our behaviours and tastes. The other

is AI as a tool for improving the teaching process, providing teachers with significant and useful details (obtained through machine learning) of the resolution process put in place by students during Educational Robotics activities. The first experiment was an attempt to educate students in the ethical use of AI, trying to train citizens who are aware of the AI algorithms already widely used in every aspect of our daily lives; the second was an attempt to take advantage of the potentials of machine learning techniques to aid teachers in analysing students' problem-solving processes – and thus to better understand the students in one's class so as to personalise lesson planning.

Keywords

Artificial Intelligence, education, machine learning, instructional technologies, school, future.

RESUMEN

La Inteligencia Artificial (IA) es cada vez más omnipresente en nuestra sociedad: la mayoría de las aplicaciones tecnológicas comerciales que se utilizan a diario explotan estas técnicas para optimizar la experiencia de los usuarios, y se están haciendo inversiones muy consistentes para desarrollar sistemas que puedan reaccionar y adaptarse en tiempo real a los diferentes comportamientos de los usuarios.

En el mundo de la educación aún no existe un uso generalizado de estas técnicas: esta contribución presentará algunos experimentos de IA en el mundo de la enseñanza, destacando

las ventajas y dificultades de adoptar estos enfoques en la escuela. En particular, se analizarán dos experiencias realizadas por el Autor, que se ubican en las dos vertientes principales del uso de la IA en la escuela: por un lado, la IA como objeto de estudio por parte de los estudiantes, quienes se convierten en diseñadores de sistemas de IA y de esta manera toman conciencia de los principales mecanismos que utilizan las plataformas tecnológicas modernas para analizar nuestro comportamiento y nuestros gustos; por otro lado, la IA como herramienta para mejorar la acción didáctica, proporcionando a los docentes detalles significativos y útiles (obtenidos gracias a técnicas de aprendizaje automático) del proceso de solución implementado por los estudiantes durante las actividades de Robótica Educativa.

Si con la primera experiencia se trató de educar a los alumnos en un uso ético de la IA, intentando formar ciudadanos conscientes de los algoritmos de IA que ya están muy extendidos en todos los aspectos de nuestra vida diaria, con la segunda intentamos aprovechar el potencial de las técnicas de aprendizaje automático para facilitar a los profesores en el análisis del proceso de resolución de problemas de los alumnos (y por tanto comprender mejor a los alumnos en clase para personalizar la propuesta formativa).

Palabras clave

Inteligencia artificial, educación, aprendizaje automático, tecnologías didácticas, escuela, futuro.

l'ingegneria del creare macchine intelligenti, specialmente programmi informatici intelligenti. L'AI è connessa ad attività come utilizzare computer per comprendere l'intelligenza umana, ma l'AI non deve essere confinata a metodi che sono biologicamente osservabili».³

Uno degli scopi principali dell'AI è quindi comprendere l'intelligenza umana, ossia quella capacità di ragionare, pianificare, risolvere problemi, apprendere velocemente e imparare dall'esperienza.⁴ Per realizzare questa comprensione e per permettere all'AI di interagire con l'intelligenza umana, si è tentato di progettare delle soluzioni che consentissero agli algoritmi di apprendere da grandi insiemi di dati (da considerare come "esperienza" in ambito informatico). Dehaene ci suggerisce che «Apprendere (e quindi imparare), significa catturare con il pensiero: portare in sé una porzione di realtà, un modello della struttura del mondo. [...] Attraverso l'apprendimento i dati grezzi che colpiscono i nostri sensi diventano idee astratte, raffinate e sufficientemente generali da poter essere sfruttate in nuove situazioni».⁵ Quanto proposto da Dehaene per gli esseri umani rappresenta il sogno per i progetti di AI: in questo ambito si sente spesso parlare di *machine learning* (apprendimento automatico): questa espressione indica l'insieme di tecniche statistiche che migliorano automaticamente attraverso l'esperienza.⁶

Si immagini ad esempio di voler addestrare un computer a riconoscere

in autonomia la presenza di un gatto all'interno di una foto. Si potrebbe raggiungere questo obiettivo sfruttando tecniche *machine learning* con approccio supervisionato, ossia selezionando una grande quantità di foto contenenti dei gatti (a cui viene associata l'etichetta "gatto"), e una grande quantità di immagini in cui non sono presenti gatti (a cui viene associata l'etichetta "non gatto"): fornendo queste due classi ad un algoritmo *machine learning*, si potrà arrivare ad un modello ottimizzato che avrà riconosciuto automaticamente i *pattern* (cioè degli schemi ricorrenti) presenti nelle immagini di entrambe le classi, e sarà quindi in grado di effettuare delle predizioni qualora una nuova foto (non utilizzata in fase di addestramento) verrà fornita in input al modello. È doveroso sottolineare una differenza tra tecniche *machine learning* implementate da calcolatori elettronici e il processo di apprendimento che avviene quando un bambino impara a riconoscere un gatto: gli algoritmi di AI hanno bisogno di centinaia di migliaia di foto per poter essere correttamente addestrati, il bambino dopo pochi incontri con un gatto riuscirà a riconoscere l'animale in nuove situazioni di vita.

In queste poche righe abbiamo sintetizzato i tre passaggi fondamentali nell'ambito dell'AI: preparazione dei dati, scelta e addestramento del modello *machine learning*, predizione e verifica della correttezza dell'algoritmo. La diffusione di AI e *machine learning* è stata molto rapida, ed ha contami-

nato tanti ambiti della vita umana: l'educazione non fa eccezione, e le prossime sezioni proporranno alcune sperimentazioni e riflessioni proprio relative a questo settore.

2. Intelligenza Artificiale e Educazione: alcune sperimentazioni internazionali

In questi ultimi anni innumerevoli sono state le sperimentazioni internazionali in cui l'Intelligenza Artificiale è stata utilizzata in campo educativo. Si propongono due principali modalità di integrazione dell'AI nel mondo dell'educazione:

- Intelligenza Artificiale come *argomento* da approfondire a scuola, per sviluppare conoscenze, competenze e consapevolezza nei cittadini del futuro su come utilizzare in maniera efficace questi strumenti e per introdurre il tema ai futuri progettisti di AI.

- Intelligenza Artificiale come *strumento* di analisi, potenziamento e miglioramento del processo di apprendimento.

La via più esplorata è sicuramente la seconda: sono veramente rare le sperimentazioni effettuate sull'introduzione di percorsi educativi a tema AI a scuola. L'importanza di lavorare su questo tema si può riassumere in tre necessità educative principali, come proposto da Luckin:⁷ un cittadino partecipe della società in cui vive dovrebbe essere in grado di discutere sugli aspetti etici dell'Intelligenza Artificiale, su ciò che dovrebbe o non dovrebbe fare un algoritmo AI; un cittadino dovrebbe

essere in grado di comprendere le basi del funzionamento dell'AI, così da utilizzare consapevolmente i sistemi e le piattaforme commerciali che ci circondano, avendo anche la capacità di riconoscere rischi e potenzialità di questi strumenti; uno studente dovrebbe essere in grado di progettare semplici sistemi AI, perché tra gli studenti di oggi abbiamo i futuri progettisti di algoritmi AI. La Cina ha investito molto in questa direzione a partire dal 2019, inserendo lo studio di queste tecniche a partire dagli 11 anni.⁸ Anche la Finlandia si è dimostrata molto sensibile al tema,⁹ creando un piano di coinvolgimento, sensibilizzazione e formazione di quanti più cittadini possibile in un corso online su AI e *machine learning*. Alcune sperimentazioni sono state fatte anche in Italia,¹⁰ senza però un coordinamento ministeriale esteso a tutto il territorio, senza un'analisi dettagliata dei risultati ottenuti e soprattutto senza un piano nazionale di sviluppo e formazione per docenti e studenti, purtroppo divenuto ormai urgente. Nella sezione 3 di questo articolo verrà presentato un progetto svolto dall'autore proprio in questo ambito.

Per quanto riguarda l'AI come strumento di analisi, potenziamento e miglioramento del processo di apprendimento si potrebbero elencare decine di studi e sperimentazioni. Proviamo a dare alcuni spunti di riflessione considerando tre categorie di strumenti progettati nelle varie ricerche svolte: *Sistemi di Tutoraggio*

Intelligente (ITS), Sistemi di Tutoraggio Basati su Dialogo (DBTS), Ambienti di Apprendimento Esplorativo (abbreviato ELE, dall'inglese *Exploratory Learning Environments*).¹¹

Gli ITS sono stati i primi sistemi di Intelligenza Artificiale progettati e sperimentati nel mondo della scuola: di solito forniscono un tutoraggio passo-passo, individualizzato per ogni studente, attraverso gli argomenti di una disciplina ben strutturata (ad esempio matematica, latino, letteratura, etc.). Sistemi di questo tipo si basano sulle risposte fornite dallo studente: acquisire una grande quantità di dati di questo tipo da tanti studenti permette di addestrare degli algoritmi poi in grado di aggiustare il livello di difficoltà delle prove, di fornire suggerimenti adeguati e di personalizzare il percorso di apprendimento dello studente, cercando di assicurare che il discente sia in grado di imparare nel miglior modo possibile. Un sistema di questo tipo è MATHia,¹² sviluppato per l'apprendimento della matematica sulla base di ricerche condotte dalla *Carnegie Mellon University*. È molto interessante osservare i risultati ottenuti con questo strumento, più efficace utilizzato in combinazione ad attività "analogiche" di gruppo, cioè senza l'uso di tecnologia: quindi un approccio "misto" (attività tecnologiche individuali potenziate da AI più attività di gruppo con carta e penna) ha permesso di ottenere una maggiore efficacia in termini di apprendimento.

I DBTS basano l'interazione con lo

studente sulla conversazione: l'utente quindi viene guidato nel processo di apprendimento chiacchierando con un tutor virtuale; ad esempio l'assistente creato dalla collaborazione tra *IBM e Pearson*, denominato *Watson*¹³ durante la conversazione su un certo argomento di studio propone materiali di supporto (immagini, video), traccia i progressi dell'alunno e adatta l'interazione in base a come vengono classificate le risposte fornite dal discente. Questo tipo di approccio pedagogico potrebbe essere considerato socratico: partendo da un obiettivo di apprendimento il tutor propone una prima domanda, suscitando quindi una prima risposta dall'alunno che viene immediatamente classificata e porta alla generazione di feedback, consigli o ulteriori domande utili a migliorare la risposta fornita e la conoscenza dell'argomento di studio. Gli ELE infine rappresentano un'alternativa all'approccio molto guidato realizzato dai sistemi appena descritti: questi Ambienti di Apprendimento Esplorativo infatti propongono l'esplorazione e la manipolazione libera di un ambiente educativo virtuale che permette quindi la costruzione di conoscenza da parte dello studente. Da notare che anche in questi sistemi vengono forniti feedback e vengono segnalate eventuali misconcezioni, così da supportare il discente all'interno dell'ambiente. Un esempio molto interessante di ELE è sicuramente il gioco ECHOES,¹⁴ progettato per lo sviluppo di abilità sociali in bambini affetti da autismo.

Si segnalano anche studi caratterizzati dall'analisi di attività complesse (come la programmazione informatica) tramite tecniche *machine learning*: in questi casi non sono stati progettati dei sistemi ITS, DBTS o ELE, ma il primo passo è stato verificare l'identificazione (da parte di algoritmi AI) di *pattern* ricorrenti nel modo di programmare (o di risolvere i problemi) dei discenti, ed eventuali correlazioni tra queste strategie e la performance degli alunni. Risultati interessanti sono stati ottenuti ad esempio da Chao¹⁵ e da Blikstein:¹⁶ entrambi sono riusciti a rilevare grazie a delle tecniche *machine learning* delle ricorrenze nelle strategie di *problem-solving* degli studenti (iscritti a corsi introduttivi di programmazione informatica) e a identificare delle correlazioni tra le performance peggiori e coloro che avevano mostrato una strategia totalmente "per tentativi" (caratterizzata anche da una minore efficienza nel codice). Nella sezione 4 di questo articolo verrà presentato un lavoro di ricerca svolto dall'autore durante il periodo di dottorato ispirato a questo tipo di analisi, ma nell'ambito della Robotica Educativa.

È doveroso riportare alcune situazioni in cui l'applicazione di tecniche AI all'interno del mondo della scuola ha generato ingiustizie ed errori: nel 2015 ad esempio Sarah Wysocki,¹⁷ insegnante statunitense, è stata licenziata a causa di un algoritmo di valutazione (denominato IMPACT e utilizzato per identificare docenti con basse performance) nonostante i numerosi ap-

prezzamenti ricevuti sia da parte del suo dirigente scolastico che da parte dei genitori dei suoi studenti; ancora più recente il caso verificatosi in Gran Bretagna,¹⁸ dove un algoritmo ha valutato migliaia di studenti sulla base della loro carriera scolastica, favorendo però palesemente scuole private e alunni provenienti da zone ricche. Questi casi mostrano quanto i dati con cui si addestrano modelli *machine learning* debbano essere bilanciati e il più possibile privi di "pregiudizi", altrimenti si correrà il rischio di ottenere output errati e faziosi.

3. L'AI come oggetto di studio: rendere gli studenti consapevoli degli algoritmi che ci circondano

Durante il mese di febbraio 2020 l'autore di questo articolo in collaborazione con il prof. Euro Sampaolesi ha condotto una delle prime sperimentazioni in Italia sull'introduzione dell'AI come argomento da approfondire a scuola, coinvolgendo circa 30 studenti di classe quinta (secondaria di secondo grado del Liceo Leopardi di Recanati, indirizzo scientifico e scienze applicate).

Il percorso, durato otto ore (suddivise in quattro lezioni) ha avuto un duplice obiettivo: da un lato fornire le basi tecniche a coloro che vogliono iniziare a studiare l'AI, dall'altra far aumentare la consapevolezza degli studenti rispetto al funzionamento degli algoritmi *machine learning* sempre più diffusi in tanti ambiti della nostra società. L'approccio educativo utilizzato è

stato il *project-based learning* (apprendimento basato su progetti) ossia «un insieme di pratiche caratterizzato da un focus specifico sulla progettazione collaborativa di soluzioni operative o applicazioni concrete rispetto al problema posto in partenza».¹⁹ Tale metodologia nasce dall'elaborazione della pedagogia costruzionista di Papert²⁰ e Resnick²¹ (dove l'apprendimento viene considerato più efficace nel momento in cui il discente progetta e costruisce qualcosa di significativo), dalle teorie sul coinvolgimento attivo e sulla motivazione degli studenti e dalla teoria delle intelligenze multiple di Howard Gardner.

Gli studenti hanno lavorato ad un vero e proprio progetto di AI, creando in *team* una *app* per smartphone Android potenziata da Intelligenza Artificiale. Durante la prima lezione si sono alternati momenti di spiegazione frontale e momenti di lavoro personale: in un brainstorming iniziale i partecipanti hanno provato a definire l'AI in base alle loro esperienze pregresse, e si è quindi potuto riflettere insieme su cosa sia e cosa non sia Intelligenza Artificiale e di come il significato di questa espressione si sia modificato nel corso degli anni. Oltre a definire l'AI i partecipanti hanno provato a proporre esempi di applicazioni e oggetti caratterizzati da questo tipo di tecnologia e hanno poi "giocato" con una piattaforma funzionante grazie alle reti neurali (una dalle tecniche più famose nell'ambito del *machine learning*), *AutoDraw*: essa infatti riconosce auto-

maticamente lo scarabocchio abbozzato dall'utente e permette di ottenere immagini disegnate molto bene, realizzate da alcuni illustratori professionisti. Infine l'autore ha presentato agli studenti il funzionamento matematico di una delle più semplici tecniche usate nell'ambito del *machine learning* (la regressione lineare), spiegando anche uno degli algoritmi più utilizzati dai professionisti dell'AI per ottimizzare il modello che dovrà poi effettuare le previsioni (la discesa del gradiente): considerando un semplice esempio (la costruzione di un modello per prevedere il costo di un appartamento avendo come input la dimensione dell'abitazione) i partecipanti hanno compreso quanto il *machine learning* sia basato sui dati e sulle leggi della statistica; l'obiettivo dell'autore era infatti "smitizzare" l'AI, renderla comprensibile e confinarla alle dimensioni a cui appartiene (matematica e informatica). "Technology is not magic!", (la tecnologia non è magia), per dirla come Andrew Huang:²² non conoscere i principi di funzionamento dei dispositivi e delle piattaforme che ci circondano è estremamente pericoloso e ci rende inconsapevolmente schiavi.

Dalla seconda lezione gli studenti hanno iniziato a lavorare con *App Inventor*,²³ un ambiente di programmazione visuale creato dal MIT di Boston e utilizzato per la creazione di app. Sono stati prima guidati nell'analisi delle differenze tra un approccio deterministico alla programmazione rispetto ad un approccio

Classe: Accendi_Luce	Classe: Spegni_Luce
Accendi la luce	Spegni la luce
Non ci vedo	C'è troppa luce
Puoi accendere la luce	Spegniamo la luce
C'è poca luce	Potresti spegnere la luce
È troppo buio	Mi dà fastidio la luce
Potresti accendere la luce per favore	Devi spegnere la luce
Accendiamo la luce	Vorrei che spegnessi la luce
Devi accendere la luce	...
...

machine learning (quindi basato sulla statistica), per poi passare alla progettazione di un prototipo di “Assistente Google Home” per *smartphone*, usando entrambi gli approcci appena citati.

In questo modo si è potuto riflettere su una delle questioni etiche fondamentali dell’AI: la risposta dell’algoritmo non può essere conosciuta in precedenza, a differenza dell’approccio algoritmico deterministico. Si propone un esempio per comprendere meglio questo aspetto: un algoritmo potrebbe confrontare l’input vocale generato dall’utente con 2 frasi precise (“accendi la luce” e “spegni la luce”), attivando poi l’azione conseguente.

if input_vocale == “accendi la luce”
turn on lights;

if input_vocale == “spegni la luce”
turn off lights;

In questo caso, un qualsiasi input differente dai due considerati all’interno dell’algoritmo non produrrebbe alcun effetto sulle luci della casa.

Decidendo invece di addestrare un modello *machine learning*, si potrebbero fornire decine di esempi differenti per la classe “accensione” (accendi la luce, vorrei le luci accese, è troppo buio, etc.) e decine di esempi differenti

per la classe “spegnimento” (spegni la luce, vorrei le luci spente, c’è troppa luce, etc.): l’addestramento di questo modello consentirebbe l’individuazione dei pattern che caratterizzano l’una e l’altra categoria, e quindi il calcolo di una percentuale di appartenenza ad una delle 2 classi per nuove frasi proposte dall’utente di questa applicazione (ad esempio una frase come “potresti accendere la luce” avrebbe una percentuale di appartenenza alla classe “accensione” pari ad un valore circa del 90%, nel caso in cui il modello fosse addestrato correttamente).

La correttezza del calcolo di questa percentuale effettuata dall’algoritmo *machine learning* dipende dai dati forniti in input durante la fase di addestramento, e questa è uno degli aspetti chiave su cui si è riflettuto durante la lezione con gli studenti.

L’Assistente Google Home che i partecipanti al corso hanno progettato ha permesso quindi di gestire con entrambi gli approcci (deterministico e statistico) le luci di un appartamento virtuale; è stato possibile integrare un modello *machine learning* alla app creata in *App Inventor* grazie alla piattaforma *Machine Learning 4 Kids*.²⁴ Dopo aver affrontato questi lavori in-

troductivi, agli studenti è stato presentato il *project work*: progettare un'applicazione per *smartphone* potenziata da un algoritmo AI. La richiesta effettuata non si è però limitata alla progettazione e programmazione della app, ma anche ad una riflessione aggiuntiva: quando ha senso (da un punto di vista funzionale) utilizzare un modello *machine learning* per potenziare una app? Gli studenti hanno dovuto quindi motivare la scelta dell'integrazione dell'AI alla loro applicazione, dimostrando quindi di aver compreso i vantaggi (e gli svantaggi) dell'approccio *machine learning*. In 3 ore circa di lavoro gli studenti hanno potuto sperimentare la programmazione della app e l'addestramento del modello AI, arrivando infine a presentare il lavoro svolto all'autore e al docente promotore del percorso. È stato molto interessante come gli studenti abbiano provato a integrare l'AI in applicazioni pensate per i più disparati ambiti della loro vita (sport, scuola, intrattenimento, musica, etc.) immaginando come in futuro l'AI possa essere utilizzata per facilitare sempre più la vita dell'uomo. Dal punto di vista dello studente un percorso di questo tipo ha avuto molteplici significati. Costruire applicazioni potenziate da algoritmi AI permette di capire meglio tante tecnologie già a nostra disposizione oggi e quanto i dati che forniamo navigando siano importanti per l'addestramento di modelli AI; permette di valutare la propria predisposizione verso lavori nell'ambito STEM (Scienza, Tecnologia,

Ingegneria, Matematica) connessi all'AI; permette di diventare cittadini più consapevoli di un mondo in cui l'Intelligenza Artificiale vedrà un utilizzo in costante ascesa; sarà nostra responsabilità quindi non solo utilizzare (e progettare) responsabilmente queste tecnologie, ma anche avere la capacità di discuterne all'interno della propria comunità con cognizione e competenza.

Considerando il punto di vista del docente, uno spunto di riflessione emerge ripensando al lavoro svolto con il Liceo Leopardi di Recanati: in questa sperimentazione l'Autore ha svolto il ruolo di progettista didattico e formatore, sfruttando le competenze maturate nel corso del suo percorso di studi e professionale sul tema dell'AI e dell'educazione. Come potrebbero i docenti italiani proporre in maniera autonoma percorsi simili o progettati in autonomia? Servirebbe un piano di formazione nazionale sull'Intelligenza Artificiale, che preveda approfondimenti storici, culturali, etici e tecnico-scientifici, così da poter preparare gli insegnanti ad affrontare l'argomento da un punto di vista interdisciplinare (possibilmente lavorando in team e collaborando con i propri colleghi). L'AI potrebbe essere introdotta non solo nella secondaria di secondo grado, ma anche nella secondaria di primo grado e negli ultimi anni della primaria: sarà fondamentale creare dei tavoli di lavoro condivisi, tra *policy-makers*, dirigenti scolastici, docenti, tecnologi esperti di AI con l'obiettivo di definire differenti percorsi adatti alle varie fasce di età.

4. L'AI come strumento di analisi: che cosa succede quando diamo un robot in mano ad uno studente?

L'AI può essere guardata anche da un altro punto di vista nel mondo dell'educazione: può infatti essere un grande alleato nell'analisi di attività complesse, come ad esempio la valutazione di artefatti digitali progettati dagli studenti, e nell'approfondimento di processi di *problem-solving* (risoluzione di problemi da parte dei discenti). Nella sezione 2 sono state presentate alcune applicazioni di AI e *machine learning* nel mondo della scuola, realizzate da gruppi di ricerca internazionali. L'Autore di questo articolo ha condotto una sperimentazione molto estesa durante i suoi tre anni di dottorato (svolti presso l'Università Politecnica delle Marche) proprio su queste tematiche; in particolare si è cercato di analizzare attività di Robotica Educativa (in rapida diffusione negli ultimi anni in Italia, si veda ad esempio il Piano Nazionale Scuola Digitale²⁵ e il PON Creatività Digitale del 2019²⁶) sfruttando i vantaggi dell'AI.

Con Robotica Educativa (in inglese *Educational Robotics*, o abbreviato ER) l'autore intende l'approccio educativo, basato sulla teoria costruzionista di Papert, caratterizzato dalla progettazione, assemblaggio e programmazione di robot da parte degli studenti, coinvolti quindi in un processo di costruzione attiva della loro conoscenza, e fortemente motivati dall'utilizzo di materiali costruttivi (i kit robotici) affascinanti e contradd-

distinti da infinite possibilità creative. Costruire un robot significa risolvere problemi, confrontarsi con i propri compagni e con il proprio insegnante, condividere le proprie scoperte e le proprie difficoltà: la Robotica Educativa non è quindi solo apprendimento della Robotica.

La comunità scientifica²⁷ è d'accordo nell'evidenziare la necessità di un approfondimento rispetto ai processi risolutivi messi in atto durante attività di ER, e soprattutto rispetto alle competenze sviluppate da un approccio di questo tipo. È molto complesso però valutare dettagliatamente questi aspetti considerando il numero di studenti che mediamente popolano le nostre classi, specialmente considerando che individuare qualitativamente (tramite osservazione) le strategie di *problem-solving* di tanti studenti richiederebbe tanti educatori coinvolti nella sperimentazione, mentre usare strumenti di valutazione standard (come questionari, quiz, etc.) probabilmente non permetterebbe di valutare adeguatamente le competenze sviluppate grazie alle attività di Robotica. Per questo motivo l'Autore ha voluto verificare i possibili vantaggi dell'applicazione dell'Intelligenza Artificiale a supporto dell'insegnante nell'ambito dell'ER.

Tanti anni di esperienza nelle scuole hanno permesso di selezionare un modello di lavoro, ideato da Martinez e Stager,²⁸ particolarmente adatto a modellare attività ER: il ciclo *Think-Make-Improve* (TMI). Durante la fase iniziale dell'attività (*Think*) gli studenti

si “connettono” al problema da risolvere attraverso un’introduzione del docente; gli alunni, suddivisi in gruppi, potrebbero svolgere un brainstorming attraverso il quale definire un’ipotesi di approccio al problema, gli obiettivi da raggiungere e magari una progettazione con “carta e penna”. Dopo questa fase si passa alla realizzazione pratica (*Make*), di sperimentazione pura, in cui i partecipanti “si sporcano le mani” costruendo e programmando i propri artefatti sulla base del problema proposto dall’educatore. Gli studenti però dovranno attentamente osservare il comportamento del robot (o dell’invenzione costruita) e fermarsi a riflettere per capire cosa non funziona o cosa si può migliorare (*Improve*), confrontandosi nel gruppo dei pari o con l’insegnante. Il ciclo quindi ricomincia, in quanto l’analisi dei feedback forniti dal robot porta di nuovo a pensare (*Think*) quali modifiche dovranno essere implementate alla sequenza di programmazione o alla conformazione meccanica dell’artefatto.

Alcune domande potrebbero emergere riflettendo su questo modello:

- si possono raccogliere dei dati granulari rispetto al lavoro svolto dagli studenti (in particolare l’attività di programmazione del robot) schematizzato dal modello TMI?

- Applicando algoritmi *machine learning* ai dati raccolti, si potrebbero individuare delle differenze stilistiche su come gli alunni mettono in pratica questo ciclo creativo e su come risolvono i problemi a loro proposti?

- I dati raccolti relativi alle attività di

ER, forniti come input ad algoritmi AI adeguati, permettono di individuare gli studenti con difficoltà nella risoluzione del problema assegnato?

L’Autore ha cercato di dare una risposta a queste domande durante i suoi tre anni di dottorato, coinvolgendo in una sperimentazione di Robotica Educativa 16 scuole primarie e secondarie tra Marche, Emilia-Romagna e Lazio, per un totale di oltre 450 partecipanti.

Prima di iniziare la sperimentazione è stato necessario modificare il *software* di programmazione del robot utilizzato (il kit *Legò Mindstorms EV3*)²⁹ così da ottenere una fotografia dettagliata del compito svolto dagli studenti: la modifica progettata dall’autore ha infatti permesso di registrare tutte le sequenze di programmazione create dai partecipanti per la risoluzione del problema proposto dall’educatore durante il tempo concesso (cioè dei dati granulari contenenti il processo di *problem-solving* attuato); quindi se di solito l’insegnante può valutare il prodotto finale messo a punto dal gruppo di studenti (la sequenza di programmazione risultante dall’opera di progettazione degli alunni) con questa modifica si sono potuti memorizzare tutti i passaggi intermedi che sono stati implementati dai partecipanti per arrivare alla soluzione finale. Non si riportano in questo articolo ulteriori dettagli tecnici di questa modifica *software*, ma per un eventuale approfondimento si rimanda alla tesi di dottorato dell’autore, liberamente consultabile online.³⁰

Agli studenti coinvolti è stato proposto un percorso di Robotica avente sempre la stessa struttura: un'introduzione alla robotica, sfide di programmazione relative ai motori del robot, sfide di programmazione relative ai sensori del robot, sfide di programmazione avanzate e progetto finale. La difficoltà delle sfide è stata calibrata in base all'età degli alunni, ma un esercizio introduttivo è stato comune a tutti: "Programmate il robot affinché percorra una distanza prestabilita (un metro), cercando di renderlo il più preciso possibile".

Questo esercizio può mettere in difficoltà gli studenti, in quanto non esiste un comando all'interno dell'ambiente di programmazione che permetta al robot di percorrere una distanza definita. Esistono dei comandi che permettono di decidere per quanti secondi rimarranno accesi i motori, o quanti giri di ruota verranno eseguiti dal robot: i discenti devono quindi trovare strategie alternative per la risoluzione di quello che sembra essere un problema banale.

L'utilizzo di strumenti di misura è stato permesso solo per misurare parametri fisici dell'artefatto (ad esempio il diametro della ruota), ma non per misurare lo spazio effettivamente percorso sul pavimento dal robot. Il tempo concesso per risolvere questa sfida è stato di circa 15 minuti per gli alunni della secondaria (12-14 anni) e di circa 20 minuti per quelli della primaria (10-11 anni). Al termine di questo periodo di tempo l'educatore ha coinvolto gli studenti in un mo-

mento di verifica finale, facendo gareggiare i robot tra loro per individuare i livelli di precisione ottenuti dai gruppi di studenti; i partecipanti hanno infine spiegato le loro strategie risolutive ai compagni e all'insegnante, condividendo idee e difficoltà riscontrate.

La sperimentazione svolta in classe ha permesso di raccogliere automaticamente (grazie alla modifica *software* precedentemente descritta) i dati relativi ai processi risolutivi di circa 140 gruppi di studenti, composti da 3/4 elementi. I dati sono stati poi trasformati in un formato adeguato così da poter essere dati in input ad un algoritmo *machine learning* appartenente alla categoria definita non supervisionata: in maniera autonoma (cioè senza la supervisione iniziale di un essere umano) l'algoritmo è andato alla ricerca di schemi ricorrenti nella mole di dati che gli si sono dati in pasto, definendo 3 stili principali nella risoluzione della sfida:

- *stile matematico*: gli studenti che hanno mostrato questo approccio molto probabilmente hanno utilizzato una precisa formula matematica prima di costruire la sequenza di programmazione; questa formula (ad esempio il calcolo della circonferenza della ruota del robot) ha permesso loro di fare pochi test di verifica, senza modificare quasi mai la sequenza creata al primo tentativo;

- *stile euristico con rifinitura delle sequenze di programmazione*: in questo caso i partecipanti hanno definito un primo test esplorativo (ad esempio impostando l'esecuzione di un giro di

ruota da parte del robot), e poi hanno rifinito la sequenza di programmazione convergendo verso una soluzione precisa del problema (implementando quindi piccole modifiche ai parametri);

- *stile euristico con modifiche significative nelle sequenze di programmazione*: gli studenti che hanno mostrato questo approccio molto probabilmente hanno avuto difficoltà nell'interpretazione del comportamento del robot; hanno infatti provato ad effettuare un test esplorativo, a cui però sono seguiti tanti test di verifica con elevate modifiche ai parametri della sequenza di programmazione. Un risultato analogo lo si è ottenuto analizzando anche esercizi relativi ai sensori del robot, come proposto dall'Autore in *Identification of the Students Learning Process During Education Robotics Activities*.³¹

Approcci risolutivi molto simili (il *planner scientist* con un approccio più teorico e il *bricoleur scientist* con un approccio più pratico) sono stati individuati nel 1994 anche da Turkle e Papert³² tramite osservazioni qualitative di attività di programmazione (senza l'uso di robot).

Probabilmente i tre approcci individuati rappresentano solo una prima fotografia "sfocata" dei processi di *problem-solving* degli studenti: queste strategie si potrebbero mescolare tra loro, e sicuramente analizzando differenti esercizi ed un campione maggiore di studenti si potrebbero trovare ulteriori stili di progettazione.

L'ultima analisi effettuata dall'Autore ha voluto verificare l'accuratezza con

la quale si possono rilevare studenti in difficoltà durante la sfida sui motori del robot, fornendo i dati raccolti in classe come input ad algoritmi di AI supervisionati; con il termine supervisionato si indica quando un essere umano etichetta correttamente i dati in ingresso forniti per addestrare un algoritmo, come spiegato nella sezione 1 di questo articolo.

In accordo con educatori e insegnanti coinvolti nella sperimentazione, è stato stabilito l'errore massimo (4 centimetri) oltre il quale si è considerata negativa la performance realizzata dagli studenti. I gruppi di studenti il cui robot ha commesso un errore maggiore della soglia stabilita hanno avuto difficoltà nel definire una strategia risolutiva, nella creazione della sequenza o nell'interpretazione del comportamento del robot durante i test. Quindi tramite l'osservazione degli educatori presenti in classe, i dati raccolti per ogni gruppo di alunni sono stati etichettati sulla base dell'errore commesso (≤ 4 cm performance positiva, > 4 performance negativa): in questo modo è stato possibile addestrare un algoritmo AI per il riconoscimento automatico di studenti in difficoltà (cioè con una performance negativa) con una accuratezza del 95%; questa analisi è stata effettuata eliminando una parte dei dati raccolti per ciascun gruppo di alunni (quella relativa agli ultimi test effettuati), tentando di simulare un sistema AI da utilizzare in tempo reale in classe mentre i discenti lavorano, quindi provando a individuare

gli studenti in difficoltà prima che la soluzione venga presentata al docente durante la condivisione finale. Anche in questo caso per tutti gli approfondimenti tecnici si rimanda alla tesi di dottorato.³³

L'analisi effettuata con le tecniche *machine learning* rappresenta un primo passo verso la creazione di strumenti a supporto della professione di insegnante. Gli insegnanti potrebbero infatti beneficiare di report e informazioni generate automaticamente da sistemi intelligenti che monitorano il lavoro degli studenti durante attività complesse come la programmazione di un robot; queste informazioni rappresenterebbero una ricca base sulla quale poi costruire la valutazione del discente, e permetterebbero di analizzare non solo il prodotto finale creato ma anche il percorso che ha portato ad un determinato risultato. L'altro importante beneficio che si potrebbe avere è l'individuazione di alunni in difficoltà in tempo reale durante lo svolgimento di un certo esercizio: ad esempio durante lezioni di Robotica Educativa, l'utilizzo di un sistema AI che identifichi i gruppi che non riescono stabilire una strategia risolutiva può aiutare il docente nella gestione della classe, specialmente se numerosa. Un ulteriore utilizzo di questo lavoro di ricerca potrebbe essere nell'analisi del lavoro svolto singolarmente dagli alunni, così da facilitare la creazione dei gruppi di lavoro sulla base dell'approccio rilevato per ogni discente. Dal punto di vista dello studente,

un'analisi di questo tipo potrebbe permettere in futuro di personalizzare maggiormente i *feedback* (in base alla strategia risolutiva preferita dall'alunno) e soprattutto potrebbe essere progettata una visualizzazione del percorso di *problem-solving* realizzato, così da promuovere una profonda metacognizione; strumenti di questo tipo, potrebbero far riflettere i discenti sulle scelte effettuate durante la risoluzione di un problema e sulle difficoltà riscontrate. L'autore condivide infatti a pieno quanto proposto da Papert nel 1972:³⁴ «Insieme a Dewey, Montessori e Piaget ritengo che i bambini imparino facendo e riflettendo su quello che fanno. Quindi gli ingredienti fondamentali dell'innovazione educativa devono essere oggetti migliori con i quali inventare e costruire modalità migliori per pensare su ciò che si è realizzato con questi oggetti».

Conclusioni

L'Intelligenza Artificiale potrà sicuramente portare innumerevoli vantaggi all'interno del mondo dell'educazione, come si può intravedere nei due progetti realizzati dall'autore e presentati nelle sezioni 3 e 4 del presente articolo: se da un lato sarà fondamentale educare gli studenti alla comprensione degli algoritmi AI (promuovendo quindi un uso consapevole delle piattaforme tecnologiche che li circondano), dall'altro quegli stessi algoritmi faciliteranno la scoperta di tanti dettagli dei processi di apprendimento che ora si fanno fatica a rilevare. È importante sottolineare due aspetti

da tenere a mente, e che dovrebbero sempre essere tenuti in considerazione qualora i decisori politici vorranno programmare l'introduzione dell'Intelligenza Artificiale a scuola:

- la centralità dello studente nel processo di apprendimento, da realizzare mediante approcci basati su progetti (*project-based learning*) e sulla costruzione di applicazioni potenziate da AI; ma questa centralità dovrà essere considerata anche nella progettazione degli strumenti AI che permetteranno di migliorare i processi educativi, permettendo al discente di visualizzare e riflettere sulle analisi effettuate da questi sistemi;

- l'importanza della formazione dei docenti, che non dovranno essere sostituiti dalla tecnologia e dagli algoritmi, ma che potranno utilizzare strumenti potenti di analisi delle attività svolte dagli studenti, e potranno risparmiare tempo ed energia proprio grazie a questi dispositivi potenziati da AI così da potersi dedicare alla relazione con gli alunni, punto di partenza fondamentale per una educazione efficace e un apprendimento profondo.

L'Intelligenza Artificiale quindi potrà portare benefici al mondo educativo solo se si riuscirà a implementare una necessaria collaborazione tra professionisti del mondo della Tecnologia, della Psicologia, della Pedagogia, della Filosofia e dell'Educazione: un punto di partenza necessario per la progettazione di soluzioni AI veramente efficaci e centrate

sulle necessità degli studenti e dei docenti; questo tipo di approccio interdisciplinare richiederà sicuramente investimenti importanti e tanto lavoro, ma visti i primi risultati promettenti sarebbe inopportuno rinunciare ai vantaggi che l'AI potrebbe portare nel mondo dell'Educazione.

NOTE

¹ Lorenzo Cesaretti, ingegnere informatico e dell'automazione, collabora con l'Università Politecnica delle Marche (Corso Modellistica e Identificazione Processi Dinamici) e con l'Università di Camerino (Corso *Fundamentals of Robotics and Industrial Manipulators*). È il direttore tecnico della startup TALENT srl, e dal 2015 studia come introdurre a scuola la Robotica e l'Intelligenza Artificiale, oltre a promuovere un uso creativo e consapevole delle tecnologie in ambito educativo.

² Cf FLORIDI Luciano, *The onlife manifesto: Being human in a hyperconnected era*, Berlino, Springer Nature 2015.

³ McCHARTY John, *What is artificial intelligence?* Stanford University - Computer Science Department, Stanford 2007, in <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.pdf> 2 (12-12-2020).

⁴ Cf GOTTFREDSON Linda S., *Mainstream science on intelligence: An editorial with 52 signatories, history, and bibliography*, in *Intelligence* 24 (1997)1,13-23.

⁵ DEHAENE Stanislas, *How We Learn: Why Brains Learn Better Than Any Machine... for Now*, London, Penguin 2020, 29.

⁶ Cf *ivi* 37-43.

⁷ Cf LUCKIN Rosemary, *Machine Learning and Human Intelligence: The Future of Education for the 21st Century*, London, UCL IOE Press - University of London - Institute of Education 2018.

⁸ Cf SALA Cecilia, *In Cina si insegnerà l'intelligenza artificiale a scuola*, in *Wired.it* (22-01-2019), in <https://www.wired.it/attualita/tech/2019/01/22/cina-intelligenza-artificiale-scuola/> (12-12-2020).

⁹ Cf BARANIUK Chris, *Inside Finland's plan to become an artificial intelligence powerhouse. The small Nordic country is betting on education to give it a decisive edge in the age of AI*, in *Wired* (15-02-2019), in <https://www.wired.co.uk/article/finland-artificial-intelligence-online-course> (12-12-2020).

¹⁰ FONDAZIONE MONDO DIGITALE, in <https://www.mondodigitale.org/it/aree-intervento/educazione-per-la-vita-e-cultura-dellinnovazione/ambizione-italia-per-la-scuola> (12-12-2020).

¹¹ Cf HOLMES Wayne - BIALIK Maya - FADEL Charles, *Artificial Intelligence in education for Teaching and Learning*, Boston (MA), Center for Curriculum Redesign 2019.

¹² Cf RITTER S. - CARLSON R. - SANDBOTHE M. - FANCSALI S. E., *Carnegie Learning's adaptive learning products*, in SANTOS O. et alii (eds.), *Educational Data Mining 2015*, 8th International Conference on Educational Data Mining (EDM2015), Madrid, 26-29 June 2015, in http://www.educationaldatamining.org/EDM2015/proceedings/edm2015_proceedings.pdf (12-12-2020).

¹³ Cf VENTURA Matthew - CHANG Maria - FOLTZ Peter et alii, *Preliminary evaluations of a dialogue-based digital tutor in International Conference on Artificial Intelligence in Education*, Berlino, Springer Nature 2018, 480-483.

¹⁴ Cf BERNARDINI Sara - PORAYSKA-POMSTA Kaška - SMITH Tim J., *ECHOES. An intelligent serious game for fostering social communication in children with autism*, in *Information Sciences* 264(2014)41-60.

¹⁵ Cf CHAO Po-Yao, *Exploring students' computational practice, design and performance of problem-solving through a visual programming environment*, in *Computers & Education* 95(2016)202-215.

¹⁶ Cf BLIKSTEIN Paulo - WORSLEY Marcelo - PIECH et alii, *Programming pluralism. Using learning analytics to detect patterns in the learning of computer programming*, in *Journal of the Learning Sciences* 23(2014)4, 561-599.

¹⁷ Cf TURQUE Bill, *Creative... motivating and fired*, in *The Washington Post* (06-03-2012), in https://www.washingtonpost.com/local/education/creative-motivating-and-fired/2012/02/04/gIQAwwZpvr_story.html (04-01-2021).

¹⁸ Cf SATARIANO Adam, *British Grading Debacle Shows Pitfalls of Automating Government*, in *The New York Times* (20-08-2020), in <https://www.nytimes.com/2020/08/20/world/europe/uk-england-grading-algorithm.html> (12-12-2020).

¹⁹ RIOTTA Mario, *Il Project Based Learning nella scuola: implicazioni, prospettive e criticità*, in *Journal of e-Learning and Knowledge Society* 3(2007)1, 75-84, in http://www.je-lks.org/ojs/index.php/Je-LKS_EN/article/view/743/370 (02-01-2021).

²⁰ Cf PAPERT Seymour, *Mindstorms. Children, computers, and powerful ideas*, New York, Basic Books 1980.

²¹ Cf RESNICK Mitchel, *Lifelong kindergarten. Cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*, Boston, MIT Press 2017.

²² Cf BITMARK Inc., *Technology is Not Magic: The Hacker's Point of View - Bitmark Ambassador "bunnie" Huang* in *Medium.com* (16-07-2019), in <https://medium.com/clean-titles/technology-is-not-magic-the-hackers-point-of-view-bitmark-ambassador-bunnie-huang-6750ab772f33> (12-12-2020).

²³ Cf *MIT App Inventor*, in <https://appinventor.mit.edu/> (02-01-2021).

²⁴ Cf *Machine learning for Kids*, in <https://machinelearningforkids.co.uk/> (02-01-2021).

²⁵ Cf MINISTERO DELL'ISTRUZIONE DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA, *Piano Nazionale Scuola Digitale*, in <https://www.miur.gov.it/scuola-digitale> (02-01-2021).

²⁶ Cf ID., *PON Cittadinanza e Creatività Digitale 2019*, in https://www.istruzione.it/pon/avviso_cittadinanza-creativita.html (02-01-2021).

²⁷ Cf ALIMISIS Dimitris, *Educational robotics. Open questions and new challenges*, in *Themes in Science and Technology Education* 6(2013)1, 63-71, come pure BENITTI Fabiane Barreto Vavassori, *Exploring the educational potential of robotics in schools. A systematic review*, in *Computers & Education* 58(2012)3, 978-988.

²⁸ Cf MARTINEZ Sylvia Libow - STAGER Gary, *Invent to learn: Making, tinkering, and engineering in the classroom*, Torrance (CA), Constructing Modern Knowledge Press 2013.

²⁹ LEGO EDUCATION, in <https://education.lego.com/en-us/products/lego-mindstorms->

education-ev3-core-set/5003400#lego-mind-storms-education-ev3 (12-12-2020).

³⁰ Cf CESARETTI Lorenzo, *How students solve problems during Educational Robotics activities. Identification and real-time measurement of problem-solving patterns*, in http://bit.ly/tesiPhD_cesaretti (12-12-2020).

³¹ Cf SCARADOZZI David - CESARETTI Lorenzo - SCREPANTI Laura - MANGINA Eleni, *Identification of the students learning process during Education Robotics activities*, in *Frontiers in Robotics and AI* 7(2020)21, in <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2020.00021/full> (02-01-2021).

³² Cf TURKLE Sherry - PAPERT Seymour, *Epistemological pluralism and the revaluation of the concrete*, in *Journal of Mathematical Behavior* 11(1992)1, 3-33.

³³ Cf CESARETTI, *How students solve problems during Educational Robotics activities*.

³⁴ Cf PAPERT Seymour, *Teaching children thinking*, in *Programmed Learning and Educational Technology* 9(1972)5, 245-255.