

Disuffo: Design, prototyping and development of an open-source educational robot

Disuffo: Design, prototipazione e sviluppo di un robot didattico open-source

Stefano Di Tore^a, Michele Domenico Todino^b, Maurizio Sibilio^{c,1}

^a *Università degli Studi di Salerno*, stefano.ditore@gmail.com

^b *Università degli Studi di Salerno*, mtodino@unisa.it

^c *Università degli Studi di Salerno*, msibilio@unisa.it

Abstract

The paper presents the results of the design, development, implementation and beta-testing of a customizable educational robot, aimed at fostering the development of digital skills in upper secondary school students and encouraging the development of coding in students attending primary school. Specifically, the robot named "Disuffo" is entirely 3D-printed and is composed almost exclusively by interlocking pieces and mounted by screws. Secondary school students are to be involved in the assembly, mounting and modification of the hardware and software of the robot (the robot already owns a software park) while the primary school children will be engaged in coding tasks using the robot. The aim of this paper is to describe the implementation experiences already carried out, and to promote the dissemination of the project, encouraging the involvement of potentially readers that may be interested in the future development of the project.

Keywords: educational robotics; 3D printing; didactics; semplexity.

Abstract

L'articolo presenta il risultato di un lavoro di progettazione, sviluppo, implementazione e *beta-testing* di un robot didattico personalizzabile, realizzato per favorire lo sviluppo delle competenze digitali di studenti frequentanti la scuola secondaria di secondo grado e per favorire lo sviluppo del coding in studenti frequentanti la scuola primaria. Nello specifico, il robot, battezzato Disuffo, è interamente stampato in 3D ed è composto quasi unicamente da pezzi ad incastro o montabili tramite viti. Disuffo è stato pensato per la scuola secondaria di secondo grado per fini didattici e con lo scopo di essere montato, modificato ed utilizzato sia relativamente alla parte hardware che alla parte logica, con i software in dotazione (il robot possiede già un parco software proprio); per la scuola primaria per favorire lo sviluppo del *coding*. Scopo del lavoro è quello di descrivere le esperienze di implementazione già effettuate, e di favorire la diffusione del progetto, incoraggiando l'adesione al futuro sviluppo del progetto da parte di lettori potenzialmente interessati.

Parole chiave: robotica educativa; stampa 3D; didattica; semplicità.

1. Introduzione

L'articolo presenta il risultato di un lavoro di progettazione, sviluppo, implementazione e *testing* di un robot didattico *customizzabile*, realizzato per favorire lo sviluppo delle competenze digitali di studenti frequentanti la scuola secondaria di secondo grado e per favorire lo sviluppo del *coding* (Rivoltella, 2014) in studenti frequentanti la scuola primaria. Il robot, battezzato Disuffo (Figura 1), è interamente stampato in 3D ed è composto quasi unicamente da pezzi ad incastro (facilmente montabili). Disuffo è stato pensato con il duplice scopo di essere montato, modificato (sia relativamente alla parte hardware che alla parte logica) e utilizzato nella scuola secondaria di secondo grado per fini didattici e con lo scopo di essere montato ed utilizzato, con i software in dotazione (il robot possiede già un parco software proprio), nella scuola primaria per favorire lo sviluppo del coding. Da un punto di vista meccanico, Disuffo è stato progettato appositamente per essere stampato in 3D. Questa peculiarità rende facile effettuare modifiche a livello strutturale e ne rende altrettanto facile la condivisione e la realizzazione².

L'articolo procederà quindi illustrando il framework teorico che ha spinto alla realizzazione di Disuffo, per poi concentrarsi sulle caratteristiche tecniche del device, ed in fine, sulle sue potenziali applicazioni scolastiche e sul suo potenziale sviluppo.

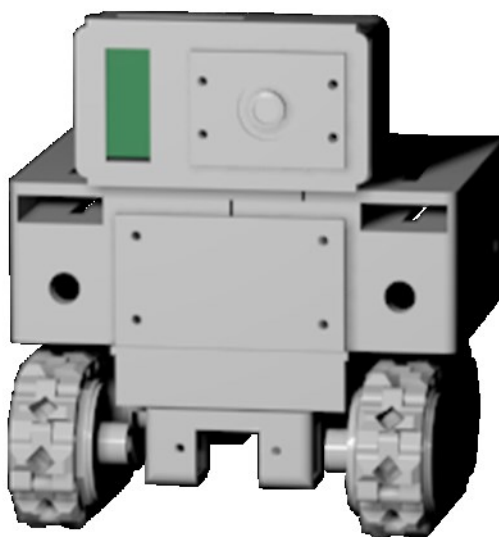


Figura 1. Robot Disuffo.

1.1. Disuffo: un robot didattico stampabile e personalizzabile

“L'Italia è 25ma in Europa per numero di utenti che utilizzano quotidianamente tecnologie digitali (59%) e 23ma per competenze digitali di base (47%). Questo divario è visibile anche nel caso delle competenze specialistiche sull'ICT (Italia 17ma) e nel numero di laureati in discipline Scientifiche o Tecnologiche (STEAM), per cui l'Italia è 22ma, con 13 cittadini ogni 1.000” (MIUR, 2015, p. 19). Questi dati, forniti dal MIUR relativamente al Progetto Nazionale Scuola Digitale, mettono in mostra una situazione estremamente problematica a livello nazionale. Dai dati è possibile dedurre che esiste un'ampia fascia

² Lo schema elettrico, i software ed i file di CAD di seguito illustrati possono essere richiesti all'indirizzo e-mail s.ditore@gmail.com, previa adesione al programma di *beta-testing* del device.

della popolazione italiana che utilizza quotidianamente le tecnologie senza comprenderne il funzionamento. L'utilizzo avviene quindi in modo acritico e privo di consapevolezza. A questi dati si aggiungono i dati ISTAT che sottolineano come a possedere adeguate competenze digitali "sono il 19,5% della popolazione, un dato ancora distante da quello registrato negli altri Paesi europei (nel 2015 la media era pari al 28%)" (ISTAT, 2017, p. 47). Il rapporto prosegue inoltre delineando un quadro nazionale, relativamente al possesso di alte competenze digitali, caratterizzato da un *digital-divide* fra Nord e Sud Italia (con una percentuale di soggetti in possesso di alte competenze digitali concentrata nel Nord-Italia e con un Sud che trova nella Campania la regione con una percentuale più bassa di soggetti in possesso di tali competenze). Ai dati OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), i dati ISTAT, sembrano quindi aggiungere l'evidenza di un drammatico decremento delle competenze digitali nella popolazione italiana. Ai rapporti OECD e ISTAT è inoltre opportuno aggiungere i dati riportati da AICA, Anitec-Assinform, Assintel e Assinteritalia (2018) nel report *Osservatorio sulle competenze digitali 2018*. I due rapporti mettono in evidenza come, relativamente al mercato del lavoro, esista un'ampia richiesta di profili dotati di competenze STEAM e in possesso di competenze nel campo delle ICT (Information and Communications Technology) con particolare riferimento alle tecnologie IOT (Internet of Things) e ai Big Data. I due rapporti individuano inoltre in questi due ultimi settori degli asset strategici per il futuro mercato del lavoro.

Tentando quindi una sintesi di quanto esposto, le indagini OECD mettono in evidenza come esista un'ampia fascia della popolazione italiana che utilizza tecnologie quotidianamente senza averne coscienza. Il dato si associa inoltre ad una media sensibilmente più bassa, rispetto ai Paesi OECD, di studenti laureati in discipline STEAM. La percentuale della popolazione in possesso di alte competenze digitali sembra aver imboccato un trend di decremento dal 2015 (come evidenziato nel rapporto ISTAT). Di contro, il mercato del lavoro richiede profili professionali dotati di competenze STEAM e di conoscenze nel campo delle tecnologie ICT. (con specifico riferimento alle tecnologie IOT).

2. Interfacce invisibili e tecnologie opache

La terza legge di Clarke³ "Qualunque tecnologia sufficientemente avanzata è indistinguibile dalla magia" appare particolarmente adatta a fungere da monito per i pericoli che sembrano emergere dall'analisi dell'attuale scenario nazionale. Sebbene, infatti, il fenomeno precedentemente descritto non possa essere considerato come l'effetto di una singola causa, e sebbene l'insieme di cause che hanno partecipato a determinarlo siano varie e complesse, fra queste ha svolto sicuramente un ruolo centrale lo sviluppo di tecnologie sempre più *user friendly* o *invisibili*. La tecnologia si è infatti evoluta sempre più all'insegna dell'*ubiquitous computing*, garantendo una facilità di interazione tale da poter essere utilizzata anche da utenti senza alcuna esperienza o competenza. A questo si aggiunge una diffusione elevatissima della tecnologia che ha determinato la nascita di una sorta di dominio semantico delle forme di interazione a cui noi tutti siamo esposti e formati (ad esempio, guardando uno schermo, alla comparsa di un'icona o di una scritta come *slice* sappiamo tutti di dover interagire trascinando le dita sulla superficie) (Gee & Rivoltella, 2013). L'evoluzione tecnologica degli ultimi trenta anni sembra, in definitiva, aver seguito

³ Le tre leggi di Clarke sono tre adagi formulati dallo scrittore di fantascienza britannico Arthur C. Clarke (1917-2008) https://it.wikipedia.org/wiki/Tre_leggi_di_Clarke.

una *ratio* che per intero si rapprende e si comunica nell'affermazione di Mark Weiser "le tecnologie migliori sono quelle che scompaiono. Diventano talmente intrecciate con il tessuto della vita di tutti i giorni da diventare indistinguibili da esso" (Weiser, 1991, p. 96). Allo sviluppo di forme di interazione sempre più *naturali* (Norman, 2010) è corrisposta, in definitiva, una evoluzione della complessità ingegneristica dei devices, che ha finito per allontanare l'utente dalla comprensione della tecnologia che sta utilizzando, al punto tale da ritenerne quasi *magico* il funzionamento. La diffusione di tecnologie sempre più *invisibili* (Norman, 2005) rappresenta certamente un progresso importante ed auspicabile, tuttavia tale evoluzione *semplessa* (Berthoz, 2012; Berthoz & Ferraresi, 2015), che nasconde dietro la semplicità di utilizzo una *complessità accessoria* di progettazione e sviluppo ingegneristico, ha portato con se il pericolo di allontanare l'utente da una reale comprensione del dispositivo, e, conseguentemente ad un uso acritico dello strumento che lo espone al pericolo di essere dominato dalla tecnologia (Gennari, 2002; McLuhan & Capriolo, 1986). In questo contesto la robotica educativa possiede delle grandi potenzialità didattiche poiché permette agli studenti di sbirciare all'interno della *black-box* tecnologica (Rossi, 2009), comprenderne il funzionamento ed averne, conseguentemente, una maggiore consapevolezza. Gli studi sulla robotica educativa hanno, in questo senso, già da tempo dimostrato che un approccio laboratoriale alla costruzione di automi rappresenta una strategia didattica efficiente per la costruzione e l'acquisizione di nuove conoscenze (con particolare riferimento alle conoscenze STEAM) perché, "according to Piaget and Papert, individuals actively select relevant aspects of their environment, manipulate concrete objects and assimilate new knowledge through observation of the effects of these actions" (Miglino, Lund & Cardaci 1999, p. 42) (Alimisis, 2013; Eguchi, 2014). Assemblare e modificare sia hardware che software di un dispositivo come Disuffo, attraverso un approccio laboratoriale, può rappresentare un'ottima strategia didattica per favorire l'acquisizione di una maggiore competenza tecnologica. Tale approccio laboratoriale alla robotica può essere utilizzato, inoltre, non solo per favorire in modo efficace lo sviluppo delle competenze in campo tecnologico (con riferimento specifico alle competenze STEAM), ma anche l'acquisizione di campi di conoscenza non necessariamente vincolati alla robotica o alle tecnologie (Benitti, 2012; Mikropoulos & Bellou, 2013). In tal senso, si è presa in considerazione l'ipotesi di poter realizzare un dispositivo facilmente implementabile anche nella scuola primaria per favorire lo sviluppo del pensiero logico e della pianificazione attraverso attività di coding realizzabili con il robot all'interno della scuola primaria.

Queste linee di ricerca hanno guidato la progettazione del prototipo che sarà di seguito illustrato. Si precisa che, ovviamente, Disuffo non è stato progettato con la finalità di garantire una comprensione esaustiva delle nozioni di fisica, informatica, elettronica, etc. che ne guidano il funzionamento, ma solo quello di fornire l'opportunità di sbirciare all'interno della tecnologia stessa, il contrario non sarebbe infatti verosimilmente perseguibile se non attraverso specifici corsi di laurea. In altre parole, senza la pretesa di fornire un esaustivo quadro delle problematiche derivanti dal grado di trasparenza delle tecnologie (Rossi, 2009), per spiegare la *ratio* che ha guidato lo sviluppo del prototipo si prenda in considerazione il seguente esempio: tutti nella nostra vita viaggiamo, o abbiamo viaggiato, su automobili, tutti sappiamo che le automobili hanno ruote, motori, pistoni, serbatoi etc., abbiamo cioè un livello di conoscenza medio del loro funzionamento, lo stesso non si può dire in generale per i computer, per gli smartphone, per i tablet etc. L'idea alla base di Disuffo è quella di garantire un primo accesso alla parte logica e hardware della tecnologia, mostrando componenti elettronici essenziali, presenti in quasi tutti i dispositivi

con cui interagiamo quotidianamente, come micro-controller, chip, printed circuit board (PCB), sensori, attuatori, etc.

3. Lo sviluppo di device didattici nel contesto tecnologico attuale

Prima di illustrare lo sviluppo e l'implementazione del prototipo realizzato è utile riportare alcune osservazioni relative al perché si sia avvertito il bisogno di progettare una tecnologia simile ed alla sua fattibilità e realizzabilità in ambito scolastico, sia in termini di competenze che di costi.

Relativamente al primo punto una superficiale analisi del mercato dell'*edutainment* è più che sufficiente per dimostrare che, allo stato attuale, esistono già in commercio una serie di dispositivi e di robot simili a Disuffo. Tali device sono sviluppati per lo più da aziende come Elego, LEGO, Meccano, etc. Lo sviluppo di tali tecnologie avviene quindi al di fuori della sfera di influenza diretta della pedagogia. Sebbene nella declaratoria dei Settori Scientifico Disciplinari M-PED/03 e M-PED/04 sia esplicitamente riportato che i due SSD dovrebbero condurre ricerche applicative relative anche alla progettazione ed all'implementazione delle tecnologie in ambito scolastico, allo stato attuale le tecnologie ed i devices più diffusi in ambito scolastico, in relazione alla robotica educativa (come Beebot, Ozobot, etc.), vengono sviluppati da aziende commerciali secondo criteri e principi più rivolti alla dimensione *entertainment* che a quella *educational*. In una situazione simile, la riflessione pedagogica, non può che arenarsi sulla sola possibilità di analizzare rischi e potenzialità di una tecnologia calata dall'alto, senza la possibilità di compiere su di essa un'adeguata opera di ergonomia didattica (Calvani, 2001) volta a renderla effettiva espressione della sua stessa riflessione. Disuffo è stato progettato per fornire una possibile risposta a questa problematica. Trattandosi di una tecnologia completamente aperta e open-source, è possibile variarne la parte hardware e software in modo significativo per compiere, di volta in volta, l'azione di ergonomia didattica che si ritiene più adeguata. Una delle caratteristiche chiave dello strumento è quindi la sua natura aperta, proprio perché lo rende flessibile a qualsiasi forma di modifica si intenda apportargli, caratteristica non posseduta dagli altri devices attualmente presenti sul mercato.

Relativamente alla parte logica, il funzionamento di Disuffo è basato su tre linguaggi di programmazione (*c*, Python, *c#*). I linguaggi implementati hanno natura differente e vengono utilizzati in modo modulare per la realizzazione del robot (il linguaggio *c* è usato per il controllo single-thread del microcontroller, il linguaggio Python è usato per il controllo di alcune funzioni legate al computer di bordo e per la comunicazione Wi-Fi con altri dispositivi, il linguaggio *c#* è utilizzato per la gestione da remoto del dispositivo). I linguaggi e la loro modalità di utilizzo sono stati scelti appositamente per essere in linea con l'apprendimento dell'informatica e dell'elettronica nelle diverse tipologie di istituti delle scuole secondarie di secondo grado. Ogni linguaggio può essere utilizzato singolarmente e possono essere variate le funzioni ad esso legate indipendentemente dalle funzioni legate agli altri programmi. L'architettura logica e fisica di Disuffo è, in questo senso, pensata appositamente per essere utilizzata con finalità didattiche. Da una prima analisi non appaiono disponibili, sul mercato commerciale o freeware, dispositivi dotati di una struttura simile.

In relazione al secondo punto, lo sviluppo del prototipo è stato reso possibile da due fattori distinti e separati:

- il calo di costo e la diffusione di componenti elettroniche a basso costo per il DIY (Do-It-Yourself) (come le linee Arduino, Raspberry, LattePanda, sensoristica low-cost, etc.);
- la diffusione delle stampanti 3D, avvenuta non solo nelle scuole ma anche nel territorio grazie alla creazione di numerosi Fablab e di centri di stampa 3D. In relazione a questa tecnologia è interessante notare la diffusione, nelle maggiori repository online del settore, di specifiche aree dedicate alla didattica e all'inclusione, in cui vengono condivisi oggetti digitali stampabili. Altrettanto interessante appare la diffusione di software per il CAD e lo slicing gratuiti e di semplice utilizzo (come Tinkercad e Cura), attraverso i quali è possibile modificare o customizzare gli oggetti digitali scaricati per adeguarli alle proprie esigenze. In fine si segnalano la presenza sul territorio azionale e online di numerosi centri che offrono servizi di stampa 3D. In questo senso, a prescindere dall'effettivo possesso di una stampante 3D, risulta estremamente facile ed economico provvedere alla realizzazione fisica degli oggetti progettati o modificati.

Grazie ai fattori delineati è possibile classificare Disuffo come una tecnologia low cost (i componenti elettronici e fisici hanno un costo approssimativo di sessanta euro), facilmente creabile e modificabile in qualsiasi contesto scolastico.

4. Disuffo: caratteristiche tecniche

Disuffo (Figura 1) è un dispositivo IOT comandabile da remoto, dotato di una telecamera ad 8 megapixel, un processore ad 1 GHZ, 512 MB di RAM, 16 GB di memoria interna, uno speaker, un microcontroller, quattro motori DC, cinque sensori ad infrarossi, due batterie al litio ricaricabili (modello 16850, 3,7V, 2200 mah) con modulo di ricarica integrato.

La Figura 2, illustra le parti meccaniche ed alcuni dei componenti del prototipo (contrassegnati dai numeri), ovvero:

1. microcontroller single-thread Arduino 1 v3. Il microcontroller, a robot montato, possiede 8 pin digitali e 3 pin analogici liberi, per montare ulteriori sensori o attuatori;
2. processore Raspberry PI zero W, con 16 GB di memoria interna mb di ram; CPU: ARM11 funzionante a 1GHz; chip Wireless: 2.4GHz 802.11n integrato; modulo Bluetooth 4.1 LE integrato; telecamera 8 Megapixel; 2 porte mini USB; 1 porta hdmi; 40 GPIO.Step-Up elettrico 3,7-5v;
3. step-up elettrico;
4. sensore ad infrarossi;
5. motore micro DC 6-12 volt;
6. batteria litio 18650.

Come è possibile vedere dalla Figura 2, i pezzi in stampa sono realizzati per essere montati ad incastro o attraverso viti. La simultanea presenza del *microcontroller Arduino* e del computer *Raspberry* è dovuta essenzialmente a motivazioni di carattere didattico. Il processore ARM11 di Raspberry è infatti in grado di gestire in singolo le funzioni del robot, tuttavia, per questioni elettriche e per questioni didattiche si è preferito prevedere la presenza di entrambi i dispositivi. Arduino, infatti, come dispositivo *single-thread* è estremamente più semplice da utilizzare e programmare rispetto al processore ARM11, e

rappresenta un ottimo punto di partenza per la creazione del robot (si precisa che alcune delle funzioni del robot possono essere espletate anche attraverso il solo microcontroller).

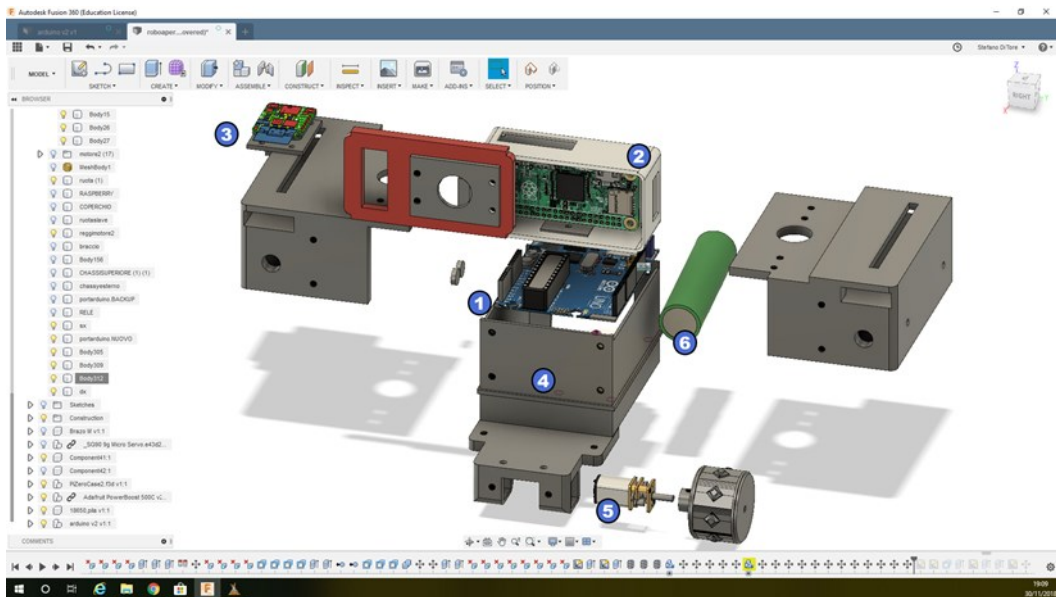


Figura 2. Parti meccaniche e componenti del prototipo.

Relativamente alla parte logica, il processore ARM11 di Raspberry monta un sistema operativo linux/debian-Stretch, una sintesi vocale open-source (e-speak) che lo rende in grado di parlare, un server open-source per la gestione da remoto (vnc server), il software Scratch, un software per la visione artificiale open-source (Vuforia) che interagendo con la telecamera ad 8 megapixel lo rende in grado di riconoscere oggetti e QR-CODE, e la IDE di Arduino. Il processore comanda quindi il microcontroller (attraverso un cavo usb appositamente realizzato) ed è connesso in Wi-Fi ad internet o ad una LAN per essere gestito da remoto.

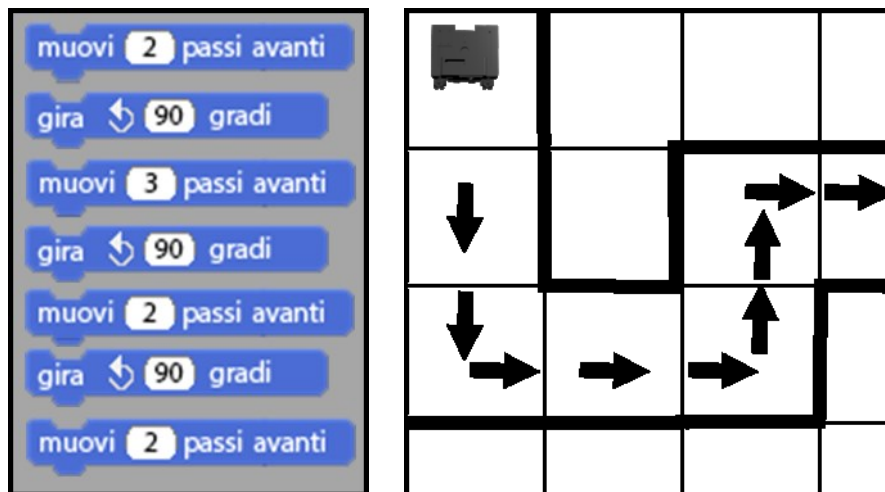


Figura 3. Esempio di programmazione dei movimenti tramite il software Scratch.

I movimenti del robot possono essere programmati attraverso l'uso di Scratch (Figura 3). Il robot è inoltre in grado di seguire linee colorate, rosse o nere, grazie ai sensori ad infrarossi montati nella parte frontale (Figura 4). Entrambe queste funzioni sono rese possibili da applicazioni appositamente sviluppate dall'Università degli Studi di Salerno, e sono state sviluppate, sulla falsa riga delle funzionalità di prodotti già in commercio, per attività volte a favorire lo sviluppo del coding nella scuola primaria.

I movimenti del robot possono essere programmati attraverso l'uso di Scratch (Figura 3). Il robot è inoltre in grado di seguire linee colorate, rosse o nere, grazie ai sensori ad infrarossi montati nella parte frontale (Figura 4). Entrambe queste funzioni sono rese possibili da applicazioni appositamente sviluppate dall'Università degli Studi di Salerno, e sono state sviluppate, sulla falsa riga delle funzionalità di prodotti già in commercio, per attività volte a favorire lo sviluppo del coding nella scuola primaria.

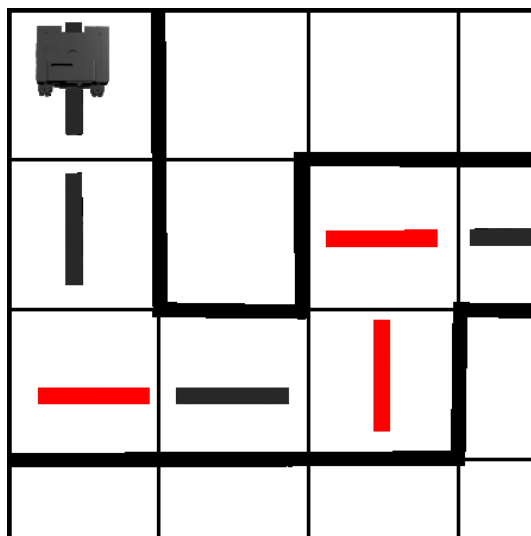


Figura 4. Esempio di programmazione dei movimenti attraverso l'uso di nastro adesivo.

Disuffo monta inoltre un software che lo rende in grado di essere guidato attraverso l'headset per la VR OCVLUS-RIFT.

Sebbene allo stato attuale le applicazioni già disponibili siano poche, la struttura del progetto rende possibile lo sviluppo di una lunga serie di funzionalità. In primis, infatti, la stessa attività di montaggio del robot è infatti un'attività didattica, in secundis la possibilità di modificarlo (grazie ai pin liberi disponibili) inserendo altre tipologie di sensori e di attuatori rende possibile la creazione di applicazioni ad hoc, come avvenuto nella fase di beta-testing che sarà di seguito descritta.

5. Disuffo: due esperienze scolastiche

Allo stato attuale del progetto Disuffo è stato stampato, montato e modificato all'interno di due classi di scuola secondaria di secondo grado, un liceo scientifico tecnologico ed un istituto tecnico agrario, (Figura 5) come azione legata rispettivamente ad un progetto per lo sviluppo di tecnologie IOT e di un progetto per lo sviluppo di tecnologia per l'agromotica (entrambi i progetti si inquadravano all'interno del Piano Nazionale Scuola Digitale). Di

seguito verrà descritto quanto realizzato in queste due esperienze, all'interno delle quali è stata condotta la fase di alpha-testing iniziale. Senza alcuna pretesa di trarre da queste ultime alcuna inferenza, si ritiene comunque importante descriverle per evidenziare i risultati ottenuti. Le sperimentazioni hanno coinvolto un totale di 37 studenti frequentanti la classe terza della scuola secondaria di secondo grado (16 nell'istituto agrario, 21 nel liceo scientifico tecnologico) per una durata complessiva di tre mesi (due mesi nell'istituto agrario, uno mese nel liceo scientifico).

In entrambe le scuole, Disuffo è stato montato e modificato. Nel caso del liceo scientifico tecnologico, gli studenti, dopo la fase di avvio e montaggio congiunto con i docenti, hanno in autonomia montato e fatto funzionare un monitor touch-screen, sensori per il rilevamento dello spostamento, led, e in generale tutti i sensori presenti nel kit didattico Arduino. Similmente nel caso dell'istituto tecnico agrario, Disuffo è stato modificato con l'inserimento di sensori di umidità, di pressione, di forza, e con l'inserimento di una IMU (Inertial Motion Unit 9DOF, dotata di accelerometro, giroscopio e barometro).



Figura 5. Liceo scientifico tecnologico ed un istituto tecnico agrario.

In entrambi i casi gli studenti hanno sviluppato interfacce per il controllo da remoto tramite internet e tramite bluetooth fruibili sia su sistemi Windows che Android. Le due esperienze non hanno evidenziato alcuna difficoltà da parte dei docenti o degli studenti nel gestire la tecnologia. Disuffo è stato accolto, di contro, con grande entusiasmo, da parte dei ragazzi di entrambi gli istituti, che al termine degli interventi hanno privatamente acquistato i componenti elettronici necessari per la costruzione di una propria versione del dispositivo.

Si specifica inoltre che nell'istituto tecnico agrario era presente un ragazzo con disturbi dello spettro autistico che è stato particolarmente coinvolto dall'esperienza, partecipando molto attivamente sia alla fase di montaggio che alla fase di customizzazione. Lungi dal voler trarre inferenze a partire da un singolo caso (anche in considerazione dell'eterogeneità dei disturbi dello spettro autistico) è comunque interessante sottolineare il potenziale inclusivo che la robotica educativa pare possedere nel campo della didattica speciale.

Allo stato attuale non sono ancora state realizzate esperienze relative alla spendibilità del prototipo nella scuola primaria e secondaria di primo grado.

6. Conclusioni e prospettive

Le due esperienze descritte hanno suggerito che Disuffo può essere costruito e gestito all'interno della scuola secondaria di secondo grado. In questo senso, si è deciso di passare alla fase di beta-testing per il suddetto ordine di scuola. La fase di Alpha-test nella scuola primaria è stata avviata ad inizio dicembre ed è tuttora in corso. Per quel che concerne le due esperienze riportate, Disuffo sembra possedere effettivamente delle enormi potenzialità didattiche. Gli studenti, infatti, sono stati particolarmente coinvolti dalle fasi di costruzione e customizzazione della tecnologia, e hanno sviluppato una buona dimestichezza nella gestione, sia per quel che concerne il lato hardware che per il lato software, di componenti elettroniche fondamentali, presenti in quasi tutte le tecnologie con cui quotidianamente si rapportano (quali microcontroller, moduli bluetooth, schede wireless etc.). In entrambe le esperienze, inoltre, gli studenti sono stati particolarmente colpiti dalla logica DIY di Disuffo e hanno deciso di continuarne privatamente lo sviluppo. Tale elemento appare di fondamentale importanza, perché in grado di avvicinare sensibilmente gli utenti al contenuto della Black-box tecnologica. Da un punto di vista generale le criticità del progetto emerse dalle esperienze rimandano alla stessa natura dello strumento. La possibilità di crescita e sviluppo di un progetto simile dipende infatti, essenzialmente, dalla dimensione della community che riesce ad aggregare attorno a sé, dalla quantità e dalla accessibilità del materiale (manuali, esperienze, tutorial etc.) da essa prodotto, e dall'ampiezza del parco software che questa riesce a sviluppare.

In tale prospettiva, lo sviluppo di una community in grado di favorire la diffusione di Disuffo, nelle scuole e nelle università, rappresenta una *conditio sine qua non* per la riuscita del progetto. L'idea alla base di Disuffo è che la sua versatilità (il robot in definitiva si presenta come una sorta di *proto-board* motorizzata gestita da un computer interno) e facilità di costruzione lo rendano una sorta di standard per lo sviluppo di applicazioni e per l'acquisizione di nozioni di informatica ed elettronica base. In tal senso, si sta attualmente procedendo allo sviluppo di un portale internet dedicato (contenente aree per la formazione, lo sviluppo, la descrizione di esperienze, forum etc.) e si invita, chiunque sia interessato, ad aderire alla fase di *beta-testing* del progetto.

Bibliografia

- AICA, Anitec-Assinform, Assintel & Assinteritalia (2018). Osservatorio delle Competenze Digitali 2018. <http://www.assinform.it/pubblicazioni/osservatorio-delle-competenze-digitali.kl> (ver. 15.04.2019).
- Alimisis, D. (2013). Educational robotics: Open questions and new challenges. *Themes in Science and Technology Education*, 6(1), 63–71.
- Benitti, F.B.V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education*, 58(3), 978–988.
- Berthoz, A. (2011). *La semplicità*. Torino: Codice.

- Berthoz, A., & Ferraresi, S. (2015). *La vicarianza: il nostro cervello creatore di mondi*. Torino: Codice.
- Calvani, A. (2001). *Educazione, comunicazione e nuovi media: sfide pedagogiche e cyberspazio*. Torino: UTET.
- Eguchi, A. (2014). Robotics as a learning tool for educational transformation. *Proceeding of 4th international workshop teaching robotics, teaching with robotics & 5th international conference robotics in education*, Padova, Italy.
- Gee, J.P., & Rivoltella, P.C. (2013). *Come un videogioco: insegnare e apprendere nella scuola digitale*. Milano: Raffaello Cortina.
- Gennari, M. (2002). *Didattica generale*. Milano: Bompiani.
- ISTAT. Istituto Nazionale di Statistica (2017). Miglioramenti diffusi nell'istruzione e formazione. <https://www.istat.it/it/files/2017/12/cap02.pdf> (ver. 15.04.2019).
- McLuhan, M., & Capriolo, E. (1986). *Gli strumenti del comunicare*. Milano: Garzanti.
- Miglino, O., Lund, H.H., & Cardaci, M. (1999). Robotics as an educational tool. *Journal of Interactive Learning Research*, 10(1), 25–47.
- Mikropoulos, T.A., & Bellou, I. (2013). Educational robotics as mindtools. *Themes in Science and Technology Education*, 6(1), 5–14.
- MIUR. Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (2015). *Piano Nazionale Scuola Digitale*. <https://www.miur.gov.it/documents/20182/21108/Piano+nazionale+scuola+digitale/5b1a7e34-b678-40c5-8d26-e7b646708d70?version=1.1> (ver. 15.04.2019).
- Norman, D.A. (2005). *Il computer invisibile. La tecnologia migliore è quella che non si vede*. Adria: Apogeo.
- Norman, D.A. (2010). Natural user interfaces are not natural. *Interactions*, 17(3), 6–10.
- Rivoltella, P.C. (2014). *La scuola generativa, Renzi e la scuola. L'ultima occasione?* Brescia: La Scuola.
- Rossi, P.G. (2009). *Tecnologia e costruzione di mondi. Post-costruttivismo, linguaggi e ambienti di apprendimento*. Roma: Armando.
- Weiser, M. (1991). The Computer for the 21st Century. *Scientific American*, 265(3), 94–105.
- Wikipedia. Tre leggi di Clarke. https://it.wikipedia.org/wiki/Tre_leggi_di_Clarke (ver. 15.04.2019).