

Editoriale

Riflessioni sullo scrivere in italiano per Mondo Digitale

Sono stato tutta una mattina per aggiungere una virgola, e nel pomeriggio l'ho tolta.
(Oscar Wilde)

La lingua è prima di tutto uno strumento per pensare, e soltanto successivamente serve a comunicare
(Marco Biffi)

Rileggere, rileggere e rileggere, quanto più si può. L'artigiano deve lavorare di fino...
(Claudio Marazzini)

1. Il contesto di riferimento

La rivista *Mondo Digitale* (MD) pubblica articoli di rassegna e tutorial nel campo dell'ICT (Information and Communications Technology) e dell'intelligenza artificiale, rivolti, in generale, all'ecosistema digitale, o infosfera. La differenza tra rassegna (o survey) e tutorial non è sempre chiara a lettori e autori, ma una distinzione pragmatica e operativa può essere la seguente. Una rassegna discute lo stato dell'arte di un argomento più o meno ampio, fornendo una panoramica della letteratura esistente e delle ricerche in corso. I tutorial si focalizzano maggiormente sugli aspetti metodologici e sugli strumenti utilizzati per investigare un settore di una disciplina. Usualmente, né una rassegna né un tutorial offrono contenuti nuovi, ma ciò non impedisce che il materiale sia presentato in modo originale, interessante, approfondito.

Anche se i loro confini sono spesso vaghi, una ibridazione fra queste due tipologie di articoli può rappresentare un'occasione per dare maggiore valore alla pubblicazione. *Docendo discitur*, scriveva Seneca all'amico Lucilio con una locuzione che qui possiamo modificare in *scribendo discitur*, osservando che la scrittura di un testo è impossibile senza un'elaborazione in forma didattica della materia. Non solo. "Le parole (i pensieri, i ragionamenti, i discorsi) servono per

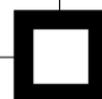
0

1

0

1

0



mettere ordine tra i fatti e per discuterli con gli altri. Per dare forma, come diceva Baudelaire” [1].

Per di più, un articolo di MD ha la caratteristica precipua di rientrare in quell’attività pubblicistica chiamata di divulgazione, benché oggi si preferisca parlare di comunicazione scientifica. Invero, una distinzione c’è, come spiega bene Bruno Arpaia [2]: “Noi tutti, in un modo, o nell’altro, siamo chiamati a partecipare a decisioni rilevanti su temi scientifici. È per questo che anche i ricercatori devono misurarsi con l’opinione pubblica, rendere conto di ciò che fanno e cercare un consenso democratico alle loro scelte. Finiti insomma i tempi della semplice «divulgazione», quando scienziati e giornalisti pensavano che il loro dovere fosse «spiegare» la Verità a un pubblico ignaro che bisognava «educare» [...]”. Già Alexander Pope raccomandava: “Bisogna insegnare agli uomini avendo l’aria di non insegnare affatto, proponendo loro cose che non sanno come se le avessero soltanto dimenticate”.

Anche i settori in cui si declina l’ICT – molti, se non tutti – possono richiedere un coinvolgimento del lettore al di là degli aspetti strettamente tecnici. Si pensi, per esempio, alle implicazioni etiche dell’intelligenza artificiale nelle sue varie ramificazioni, dal machine learning ai robot umanoidi (rimando per questo argomento a [3]).

Un secondo aspetto rilevante è che le aziende high tech richiedono oggi professionalità altamente qualificate portatrici di conoscenze sviluppate sia in profondità sia in ampiezza, non solo legate a competenze ed esperienze settoriali. E dunque, una preparazione aperta e flessibile deve essere tanto profonda in verticale (in senso specialistico) quanto estesa in orizzontale (in senso relazionale), cioè “a forma di T”. Negli USA, le facoltà STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) più all’avanguardia propongono questo modello formativo, attento alle necessità di operare in una realtà globale. Nel seguito, sia pur con il distinguo precedente, mi riferirò prevalentemente al termine di divulgazione, inteso come esposizione d’alto livello con un linguaggio semplice ma rigoroso a supporto del ragionamento e dell’argomentazione (come modello, indico la guida [4] di un maestro della comunicazione scientifica qual è Piero Bianucci).

2. La comunicazione tecnico-scientifica

Una prima conseguenza di quanto detto si pone sul piano dello stile espositivo: i ricercatori devono imparare a parlare delle loro materie (anche) in forma di narrazione, aneddoti e memoir, il sempre più diffuso storytelling, che consiste nel coinvolgere il lettore con storie, oltre che con il rigore di un percorso ragionato. La forma narrativa e il taglio divulgativo non precludono affatto un impianto solido, ma significano che il tono dovrebbe essere chiaro, discorsivo, se non proprio affabile (friendly) e divertente. E dunque, non solo lavori con il linguaggio accademico proprio delle riviste specialistiche e settoriali, cioè quelle

che “servono per la carriera”. Peraltro, anche se la pratica di scrivere saggi di alta divulgazione scientifica, sino a qualche tempo fa, non era molto praticata nel nostro ambito universitario, MD ha rappresentato, fin dai suoi primi numeri, una lodevole eccezione per il taglio e l’equilibrio degli articoli pubblicati.

Personalmente – il lettore mi perdoni l’autoreferenzialità – nei primi 35 anni di ricercatore, i miei lavori erano destinati prevalentemente a riviste e convegni scientifici. Negli ultimi 15 anni sono passato gradualmente a scrivere in forma di comunicazione divulgativa sull’ICT. Il mio metodo di preparazione dei testi è stato lineare nel primo periodo, ipertestuale con l’uso delle tecnologie digitali e del web nel successivo, perché basato su una assai maggiore quantità di materiali eterogenei e poco organizzati *a priori*. Da ricercatore, la mia prosa era molto più asciutta, stringata, essenziale, tipica di un lavoro scientifico; successivamente si è fatta (o, meglio, ho provato a farla diventare) più discorsiva, ammiccante, espressiva per venire incontro alle esigenze del lettore-fruitore, anche se, forse, non ci sono riuscito completamente, perdendo altresì in concisione. Come il solito, il giudizio spetta al lettore. In ogni caso, le neuroscienze hanno dimostrato che scrivere un testo a mano è molto diverso dal comporlo su PC e che consultare pagine scritte è altra cosa dal leggere pagine web. Un’ulteriore criticità/opportunità è rappresentata da Internet come inesauribile fonte di informazioni da fruire in tempo reale.

Può anche darsi che presto venga sostituito da un algoritmo di intelligenza artificiale – come accade in un certo giornalismo [3] – non solo per la senescenza ma anche per la migliore funzionalità dell’algoritmo. Curiosamente, già nel 1953 (un anno ormai lontano), Roald Dahl, maestro di storie grottesche e spiazzanti, pubblicava il racconto visionario “Lo scrittore automatico” (“The Great Automatic Grammatizator”) [5], nel quale la maggior parte degli scrittori, compreso il fittizio autore del racconto, si vedeva costretta a cedere la propria identità a una macchina costruita *ad hoc*, perché assai più rapida ed efficace degli umani.

3. Il lessico dell’ICT

Il secondo problema – ancora stilistico e formale, più che di sostanza (anche se “*Le style c’est l’homme même*” ovvero “Lo stile è l’uomo”, declamava il conte di Buffon) – è che dallo scrivere in inglese nella varietà nordamericana sono passato a elaborare testi nella nostra lingua¹.

La criticità risiede nel fatto che si tratta di un nuovo italiano, un tecno-italiano ibridato con l’inglese. Cercherò di spiegarmi con due esempi, senza prendere posizione rispetto a chi deplora l’insegnamento esclusivamente in inglese nelle università statali (si veda, solo per dire, la levata di scudi dell’emerito linguista Francesco Sabatini in una trasmissione televisiva [6]), o a chi, come il compianto Tullio De Mauro [7], constata l’(ir)resistibile ascesa degli anglismi/anglicismi. La

¹ Benché la Rivista non precluda affatto la pubblicazione di lavori in lingua inglese.

prima questione è di anni recenti, mentre la seconda – l'accettazione acritica dell'invasione degli anglicismi – è una *vexata quaestio* che nei mass media si ripresenta come i fiumi carsici: scorrendo lungamente sotto il suolo prima di tornare in superficie. Faccio notare di passaggio che i forestierismi – non solo gli anglicismi – sono per lo più da noi pronunciati male, all'italiana; si pensi a: *award, Blueberry, career, carrier, colleague, control, default, development, Edinburgh, employer e employee, frequency, image e imaging, impact, interference, know-how, LinkedIn, management, outsource e resource, parameter, performance, psychology, purchase, report, reset, review, signal processing, suspense*, ecc. Per non parlare del francese *stage*, di *robot* (termine di origine ceca, non francese), dello svedese *Nobel*, e di una marea di altri termini. Per leggere e ascoltare la pronuncia corretta dell'inglese nelle sue varietà basilari di British English o American English basterebbe interrogare uno qualsiasi dei tanti autorevoli e aggiornati Dictionary disponibili online, dal Merriam-Webster al Cambridge, all'Oxford.

E veniamo ai due esempi promessi.

Primo esempio. Il quaderno di settembre 2017 del "Sole 24 Ore" su *Big Data Analytics* [8] si rivolge alle aziende perché colgano le opportunità insite in questo settore per sviluppare il proprio business, organizzandosi in modo coerente. Già dall'indice balzano all'occhio termini che vanno da *Data Scientist* a *Journey*, da *trend* a *Business Intelligence*, da *startup* a *Data Governance*, da *Smart Technologies a delivery*. I contenuti del fascicolo – curato da professori e ricercatori del Politecnico di Milano – sono davvero eccellenti e rappresentano un must per ogni azienda innovativa che voglia cogliere il valore nascosto nei dati, a vantaggio di prodotti, processi, servizi, logistica, organizzazione interna, integrazione (piattaforme condivise) con gli *stakeholder*, ecc. I molteplici benefici possono riguardare il *change management*, l'innovazione, la produttività, e non solo la riduzione dei costi.

Secondo esempio. In [3] scrivo: "I principali paradigmi caratterizzanti le soluzioni tecnico-sistemistiche nell'evoluzione delle reti di telecomunicazioni sono: i *Big Data*, l'*Internet of Things* – IoT, il sistema 5G di comunicazioni fisse e mobili a larga banda, la «softwarizzazione» della rete tramite *Software-Defined Networking* – SDN e *Network Function Virtualization* – NFV, il *cloud/fog networking e computing*". E successivamente, "La rete 5G promette larghezza di banda e velocità di dati molto più alte (100 volte) con ritardi (per lo *streaming*) significativamente più bassi (meno del millisecondo), grande affidabilità e sicurezza. Per questo motivo, l'SDN la NFV e il *cloud computing* (incluso il *fog* della Nebbiolo Technologies, fondata da Flavio Bonomi nella Silicon Valley) vi si conformeranno così bene. Gerhard Fettweis (Università di Dresda) ha introdotto nel 2012 il concetto di una Internet «tattile», in grado cioè di offrire risposte pressoché immediate nel trattare processi o oggetti – reali a virtuali – che si desidera percepire in tempo reale. Un altro neologismo del settore è «aptico», in senso banale riferito al riconoscimento di oggetti attraverso il tatto, benché possa denotare, in modo più generale una percezione di «virtualità

materiale» (locuzione, peraltro, ossimorica): dal paradigma *high tech* si passa allo scenario *high touch*. Essendo ubiqua e resiliente, l'Internet tattile si potrà inserire nel quadro di riferimento offerto dal paradigma 5G, che con i nuovi usi applicativi trasformerà il modo di vivere, lavorare e interagire con l'ambiente. Già in tempi brevi, il 5G consentirà, oltre all'IoT, applicazioni concrete quali i trasporti, le città e le case intelligenti, l'assistenza sanitaria informatizzata, l'automazione industriale, i servizi di info-trattenimento (*infotainment*)".

I due esempi precedenti, ricchi di recenti coniazioni linguistiche, acronimi, calchi dell'inglese, ecc., sono emblematici di ciò che ho definito tecno-italiano. Ma se ne può fare a meno? Come riferirò più avanti, sulla questione ho cercato di coinvolgere, via email, alcuni accademici della Crusca, sia pur con successo parziale.

Sottolineo anche la difficoltà della traduzione in italiano di un linguaggio specialistico in modo uniforme e corretto. Per esempio, ho letto recentemente un graphic novel (una volta fumetto o comics) sulla vita di Alan Turing e sul suo ruolo nella decrittazione di Enigma – argomento che un po' conosco e su cui ho scritto per MD. Purtroppo, da questa lettura ho ricavato poco beneficio a causa, io credo, anche della resa in italiano, quantomeno bizzarra, dei termini tecnici specifici di crittografia e crittanalisi; è pur vero che "il tradimento è insito nel tradurre" (copyright di Umberto Eco). Per di più, "Ci sono tre regole per scrivere un romanzo. Sfortunatamente, nessuno sa quali siano", chiosava William Somerset Maugham con un aforisma, sibillino sì, ma ben adattabile alla traduzione: "Ci sono tre regole per *tradurre*. Sfortunatamente, ecc."

4. Risorse e strumenti

Poiché non mancano risorse e strumenti di base e di riferimento, sia online sia cartacei, di seguito ne riporto alcuni, a mio avviso, fra i più utili e validi:

1. La sempre attuale "Garzantina" sull'*Italiano* di Luca Serianni [9], il cui pratico glossario finale (a cura di Giuseppe Patota²) funge tanto da indice analitico quanto da guida alla soluzione di dubbi linguistici.
2. La collana [10] in 14 volumetti *L'italiano. Conoscere una lingua formidabile* dell'Accademia della Crusca in abbinamento con i quotidiani del Gruppo Editoriale GEDI (fra cui *la Repubblica* e *La Stampa*), iniziativa pubblicizzata con l'accorato appello "non maltrattiamo la nostra lingua". Ai lettori-autori di MD, segnalo specificamente i numeri: 3. *Scrivere nell'era digitale* [11], 7. *Le*

² Riferendosi al processo evolutivo naturale della grammatica, Patota scrive: "Accanto alla letteratura abbiamo tenuto conto dell'uso giornalistico, che riteniamo specchio attendibile dell'italiano scritto contemporaneo nei suoi vari registri. Questo non significa né che ciò che scrivono i giornali faccia testo (nemmeno linguisticamente), né che le questioni grammaticali possano essere risolte a colpi di maggioranza. Ma indubbiamente, se una forma condannata dalla grammatica non ha il sostegno nemmeno episodico degli scriventi professionali dei nostri tempi – quali sono appunto i giornalisti – non c'è che da prendere atto della sua obsolescenza: *si tout le monde a tort* – direbbero i nostri cugini d'oltralpe – *tout le monde a raison*" [9, p. 487].

parole nella Rete [12] e 8. *Giornali, radio e tv: la lingua dei media* [13]. Stante l'attualità degli argomenti, aggiungo: 4. *Sindaco e sindaca: il linguaggio di genere* [14] e 6. *L'italiano e le lingue degli altri* [15].

Dal settembre 2017, il *Corriere della Sera*, con l'iniziativa *La biblioteca della lingua italiana*, ripropone 25 testi sulla lingua usciti negli ultimi anni e dedicati a un largo pubblico. I libri della collana sono scelti e introdotti dal linguista Giuseppe Antonelli.

Tutte le pubblicazioni elencate in questo punto sono eccellenti esempi di ciò che intendo per "alta divulgazione".

3. Il semestrale *La Crusca per voi* con la rubrica di "Quesiti e risposte", nonché il prezioso *Servizio di consulenza linguistica dell'Accademia della Crusca* online: <http://www.accademiadellacrusca.it/it/lingua-italiana/consulenza-linguistica>. Più in generale, dalla pagina <http://www.accademiadellacrusca.it/it/lingua-italiana> è possibile accedere alle sezioni del sito dedicate a fornire supporti linguistici di vario tipo³. Dal menu della stessa pagina si può entrare direttamente in *Italiano digitale*, la rivista che dal luglio 2017 raccoglie una scelta delle pubblicazioni in Rete dell'Accademia, incluse le schede di consulenza linguistica. È da segnalare che la Crusca ha anche istituito il Gruppo Incipit allo "scopo di monitorare i neologismi e forestierismi incipienti, nella fase in cui si affacciano alla lingua italiana e prima che prendano piede" (<http://www.accademiadellacrusca.it/it/attivita/gruppo-incipit>), pur senza fare battaglie contro i mulini a vento.
4. Il fondamentale *DOP – Dizionario italiano multimediale e multilingue d'ortografia e di pronuncia* della Rai-ERI, disponibile anche online [16]. Stampati o consultabili in Rete, circolano a profusione ottimi dizionari dell'uso dell'italiano: De Mauro, Garzanti, Hoepli, Treccani, Zingarelli fino al Sabatini-Coletti e al Devoto-Oli, molti dei quali sono oggi "millesimati", cioè aggiornati di anno in anno.
5. Il ricchissimo portale *Treccani.it* per le aree di contenuto linguistico e le relative voci d'appoggio.
6. *Le 300 parole da dire in italiano* di Annamaria Testa [17] e il blog *Terminologia etc.* di Licia Corbolante [18].

³ In particolare, nelle sezioni di questa pagina web sono raccolte ulteriori informazioni e altri interventi sul dibattito intorno alla questione dell'insegnamento universitario nella lingua inglese al posto – non a fianco – dell'italiano, incluse le relative implicazioni legali. Su questo nodo critico non mi esprimo, perché non sono né giurista né linguista, e da anni non pratico più l'insegnamento universitario.

Questi riferimenti, adottando un taglio positivo⁴, raramente normativo⁵, sono suggestivi di modelli virtuosi per la comunicazione, non solo scritta. Presentano altresì le caratteristiche basilari di una buona fruibilità: rigore e chiarezza, senza lesinare, peraltro, consigli di utilità pratica.

Rispettare la grammatica non è sempre facile. Ancora più difficile è seguire le regole dello scrivere bene⁶. Umberto Eco le ha esposto con una delle sue armi migliori: il paradosso per cui ogni regola contiene l'errore da evitare. Ecco le prime dodici raccomandazioni [4, pp. 163-164]⁷:

1. Evita le allitterazioni, anche se allettano gli allocchi.
2. Non è che il congiuntivo va evitato, anzi, che lo si usa quando necessario.
3. Evita le frasi fatte: è minestra riscaldata.
4. Esprimiti siccome ti nutri.
5. Non usare sigle commerciali & abbreviazioni etc.
6. Ricorda (sempre) che la parentesi (anche quando pare indispensabile) interrompe il filo del discorso.
7. Stai attento a non fare... indigestione di puntini di sospensione.
8. Usa meno virgolette possibili: non è "fine".
9. Non generalizzare mai.
10. Le parole straniere non fanno affatto bon ton.
11. Sii avaro di citazioni. Diceva giustamente Emerson: "Odio le citazioni. Dimmi solo quello che sai tu".
12. I paragoni sono come le frasi fatte.

⁴ L'attributo *positivo* è qui inteso nell'accezione originale di ciò che "è posto come dato sul piano della realtà oggettuale" (<http://www.treccani.it/vocabolario/positivo/>).

⁵ In senso prescrittivo, il più severo è il *DOP*, essendo dedicato alla correttezza di grafie e pronunce (le cosiddette ortografia e ortoepia). Anche se la versione online del *DOP* è costantemente riveduta, aggiornata e accresciuta, la ricercata variante di *pronunzia* del titolo originale, e tramandata nelle edizioni successive, ci riporta al periodo della sua nascita, cioè agli anni Cinquanta. L'attuale edizione a stampa, la terza, è del 2010.

⁶ Sull'utilità (o inutilità) dello scrivere bene oggi, rimando al provocatorio elzeviro di Claudio Giunta "Saper scrivere è così importante?", pubblicato dal supplemento culturale del *Sole 24 Ore* di domenica 12 febbraio 2017 (<http://www.ilsole24ore.com/art/cultura/2017-02-12/saper-scrivere-e-così-importante-125906.shtml?uuid=AFbRCDQ>). L'intervento parte dall'appello di 600 docenti sul cosiddetto declino dell'italiano, secondo i quali: "È chiaro ormai da molti anni che alla fine del percorso scolastico troppi ragazzi scrivono male in italiano, leggono poco e faticano a esprimersi oralmente [...]". (Siamo però davvero sicuri che le carenze linguistico-comunicative dei giovani siano tanto marcate? Se così fosse, saremmo di fronte a un caso in cui alla bulimia dei mezzi – dispiegati per sviluppare conoscenze, abilità, competenze – corrisponde l'atrofia dei risultati).

⁷ L'elenco completo è disponibile nella raccolta *La bustina di Minerva* [19] o nel "Robinson" intitolato *Italiano per principianti* [20]. In Internet si trova al link <http://www.mestierediscrivere.com/articolo/eco2>.

Personalmente, per molte di queste indicazioni – in particolare per l’undicesima – non sono un buon seguace del grande Eco, come è qui del tutto evidente. Da taluni considerato saccente, snob e un po’ narcisistico, il vezzo delle citazioni erudite sembra dettato, ai due estremi, dal ricorso del principio di autorità (*l’Ipse dixit*) per avallare deboli argomentazioni⁸, o dall’ostentazione di una millantata cultura. Oppure, ed è l’interpretazione che prediligo, si tratta della capacità di saper ascoltare la voce di tanti pensatori che, generosamente, con le loro pillole di saggezza ci suggeriscono spunti di riflessione non banali – non è quindi citazionismo esasperato.

Un ottimo consiglio degli esperti di scrittura è di “rileggere, rileggere, rileggere” il testo per correggere, togliere, limare, sfruttando tutto il tempo disponibile prima di licenziarlo. Ogni pagina è frutto del “pensarci su” [11] e della cura maniacale ai particolari, come ben sapevano e facevano grandi autori quali Manzoni, Calvino, Fenoglio, per rimanere solo fra gli italiani.

Un altro frequente suggerimento è di eliminare gli aggettivi e gli avverbi superflui, anche se il compianto Giuseppe Pontiggia osservava acutamente, e *pour cause*, che “se si usano in modo efficace cinque aggettivi, vuol dire che quattro sono pochi e sei ridondanti” ([21, p. 199])⁹.

5. Si parva licet...

Benché non possa dirmi davvero esperto in materia, non resisto alla tentazione di rappresentare le mie fissazioni lessicali più accentuate¹⁰ – alcune rientrano fra le idiosincrasie soltanto mie, le altre, invece, sono ampiamente diffuse e condivise. Con questo gioco, per alcuni forse un po’ stucchevole, non intendo affatto suggerire un discrimine: questi costrutti si possono usare, queste locuzioni non si possono usare – non ne avrei, infatti, né la competenza né l’autorità. Il mio scopo è un altro: mi propongo di richiamare il diritto a leggere testi e a sentire discorsi in una lingua, una forma e uno stile sorvegliati, non sciatti.

Indicherei come negativi certi tic lessicali e tormentoni multiuso: lo snobistico *quant’altro*; l’affettato *piuttosto che* con significato di *oltre che*; il viscido *comunque*;

⁸ “Chi disputa allegando l’autorità, non adotta l’ingegno, ma piuttosto la memoria” (Leonardo da Vinci), ma: “La citazione è un utile sostituto dell’arguzia” (Oscar Wilde). Sono grato all’amico Maurizio Molinaro per avermi segnalato entrambi i pensieri.

⁹ Il saggio *Dentro la sera. Conversazioni sullo scrivere* [21] contiene le trascrizioni e il CD audio delle lezioni radiofoniche tenute da Pontiggia nel 1994 sull’attività dello scrittore in una prospettiva ampia e ricca di esempi. Pontiggia è stato un autore capace di dialogare con il proprio tempo, fornendo una guida critica ma costruttiva alle tendenze e alle mode linguistiche. Imperdibile è anche il suo gustoso volumetto [22] con notazioni di costume sul linguaggio degli italiani.

¹⁰ Spero di non derogare al lapidario ma incontrovertibile monito di Plinio il Vecchio “*Ne supra crepidam sutor iudicaret* (Che il calzolaio non giudichi al di là della scarpa)”, ossia ognuno dovrebbe occuparsi delle cose di sua competenza. Il richiamo al *sutor* corrisponde al meneghino “*Ofelè, fa el to mesté!* (Pasticciere, fai il tuo mestiere!)” – invito, questo, lapidario ma incontestabile. Altrettanto efficace è il piemontese “*Mostré ai gat a rampié* (Pretendere di insegnare ai gatti come arrampicarsi)”, ovvero dare consigli non richiesti a chi ne sa molto di più.

la perentoria risposta *assolutamente*; il familiare *famigliare*. Poi ci sarebbero lo pseudo-matematico *esatto*¹¹ come affermazione o conferma; l'avverbio *onde* seguito dall'infinito, perché a molti "fa venire il mal di mare"; l'apostrofato **qual'è*¹² (anche se la scrittrice Cristina Campo, che peraltro aveva una prosa perfetta, lo scriveva così [23]); l'asimmetrica correlazione *sia... che...*; l'uso negativo del positivo *affatto* (con il capovolgimento del suo significato); l'esausto *esaustivo*; il popolare **a gratis* con la gratuita *a*; il duro a morire **redarre* al posto di *redigere*; il poco abbreviato nell'accentato **pò*, ecc.

In positivo, preferisco l'uso della grafia più sorvegliata per: *complementarità* (rispetto a *complementarietà*), *interdisciplinarità* (rispetto a *interdisciplinarietà*), *intravedere* (e non *intravvedere* perché *intra-* non genera raddoppiamento). E mi piace anche ricordare la raccomandazione: "Scrivete *sé stesso* con l'accento grafico su *sé*", norma inderogabile per Seriani¹³, bravissimo educatore sempre con lo sguardo attento del linguista e la prosa nitida del comunicatore tanto nello scritto quanto nel parlato.

Così come prendo nota che in italiano gli efficaci ed esplicitivi neologismi *implementare* (da *to implement*), *performante* (da *performant*), *resilienza* (da *resilience*) sono stati finalmente sdoganati, benché qualche neocruscante arcigno e supercilioso storca ancora il naso. Vedo ancora l'espressione stupita di allibiti colleghi universitari a un mio innocente *implementare*, molti anni fa, mentre tenevo una conferenza sull'applicazione dei filtri di Kalman alle telecomunicazioni [24].

Circa il plurale dei forestierismi – anglicismi, soprattutto – faccio mio il suggerimento di Patota [9, p. 562] che, per quelli saldamente impiantati in italiano, "è preferibile il plurale invariato", quindi: *i computer, i manager, i monitor, gli sport*, ecc.

L'esattezza del linguaggio è una delle lezioni che Italo Calvino ci ha lasciato nell'indimenticabile opera postuma *Lezioni americane* [25]. Oltre a questa, le altre caratteristiche distillate nelle *Lezioni* sono: leggerezza, rapidità, visibilità, molteplicità, coerenza (solo progettata da Calvino). E dunque, in ogni contesto tecnico scientifico non si può rinunciare all'uso di termini tecnici specifici e precisi.

Peraltro, un orecchio attento alla povertà e alla piattezza del linguaggio odierno (si pensi alle espressioni verbali "un attimino" o "nella misura in cui...") deve pure evitare di esprimersi in modi che vadano a detrimento della chiarezza. "Chi

¹¹ Pontiggia amava sentenziare che *esatto* "circoscrive i limiti di una persona come una volta il borsello quelli di un uomo" [21, p. 212], [22, p. 57].

¹² Secondo una convenzione adottata in linguistica, l'asterisco anteposto a una parola o una locuzione ne contrassegna la non grammaticalità.

¹³ Si veda, e non solo per questo aspetto tutto sommato marginale, la sua lezione di congedo dall'attività didattica "Insegnare l'Italiano nell'università e nella scuola" del 14 giugno 2017 (<https://www.youtube.com/watch?v=MV4i6PscKEQ>).

sa di essere profondo, si sforzi d'esser chiaro, chi vuole apparire profondo, si sforzi di essere oscuro", ammoniva Nietzsche. Non occorre quindi esagerare con i tecnicismi, per non farsi invischiare nel gergo dei linguaggi settoriali: in ambito medico circola la facezia sul clinico, specialista in cefalee, che si vantava con i suoi assistenti: "Il paziente è venuto da me con il mal di testa, e se ne è andato con l'emicrania".

Secondo l'aforisma di Wilde citato in esergo, perfino le virgole hanno un ruolo essenziale (indubbiamente, lo scrittore dedicava altrettanta attenzione maniacale a ogni elemento linguistico). Per introdurre una nota leggera, faccio notare che il senso dell'ipotetica esortazione di un docente agli allievi a studiare il poeta Caproni: "Studiate Caproni!", verrebbe stravolto, introducendo una virgola, in "Studiate, caproni!", con un vocativo certo non gradito da studenti e famiglie iperprotettive.

La punteggiatura – me ne rendo conto – è un altro mio vezzo radicato e irrinunciabile. Resta il fatto che Bice Mortara Garavelli nel suo impeccabile *Prontuario di punteggiatura* [26] si batte contro una concezione ingenua della punteggiatura, tramandata ancora oggi dall'insegnamento scolastico. Quella per cui l'interpunzione, compresa la virgola, servirebbe a riprodurre le pause del parlato ("a riprendere fiato") e non – come invece è – a segnalare i legami tra le varie parti di un testo. Una ben nota conseguenza di questo assunto, tanto arbitrario quanto consolidato, è la tradizione scolastica di bandire la virgola prima delle congiunzioni *e* ed *o*. Sulla punteggiatura come indicatore dei rapporti logico-sintattici tra le parti di una frase o di un periodo, insiste anche il manuale *Questo è il punto* di Francesca Serafini [27].

Le riflessioni precedenti non hanno certo la pretesa di fornire "linee-guida" o "istruzioni per l'uso", quali si potrebbero trovare in un vademecum grammaticale di pronta consultazione. A proposito di indicazioni pratiche, provo grande simpatia per questa *summa* di precetti aurei: "scrivere, rimaneggiare, rivedere e lentamente produrre". E ancora: "soppesare ogni frase curandone il ritmo, scegliere, scartare, riscegliere ogni parola", sfruttando tutto il tempo disponibile. Che poi è la sintesi del galateo di scrittura cui si atteneva Gustave Flaubert [28].

6. Conclusioni (con un suggerimento)

All'inizio del 2017 ho interpellato alcuni autorevoli linguisti e accademici della Crusca, inviando loro un'email di questo tenore: "Un settore che sforna di continuo neologismi e anglicismi nordamericani è quello dell'informatica, delle telecomunicazioni e dell'intelligenza artificiale (ICT). Infatti, i risultati dell'innovazione tecnologica nel digitale sono ben più rapidi di quelli ottenibili nei campi sociale, economico, politico. Esistono, a sua conoscenza, pubblicazioni, siti web, blog, volti a facilitare il lavoro di comunicazione / divulgazione sull'innovazione ICT e sulle tecnologie digitali nella nostra lingua? Se così non fosse, sarebbe forse utile promuovere studi *ad hoc* o tesi di laurea che se ne

occupino in modo specifico. Eventuali suggerimenti – se non vere e proprie linee-guida – sarebbero molto graditi da quei ricercatori e studiosi della disciplina che si sforzano ancora di scrivere in un italiano decoroso e comprensibile anche da un lettore «laico» – colto ma non specialista. In ogni caso, potrebbe essere interessante verificare le posizioni assunte in quest’ambito dalle analoghe istituzioni di Francia, Germania, Spagna”.

Ho dovuto però rendermi conto della scarsa attenzione che i linguisti italiani, in generale, prestano al problema; per esempio, da un riscontro ricevuto è emerso che molti di essi “preferiscono non cimentarsi” nella resa in italiano del lessico proprio dell’ICT, giudicandolo un “campo minato” e ritenendo la partita “persa in partenza”. Un’esperta di scrittura in Rete e blogger mi ha poi risposto: “Il tema della traduzione in italiano dei termini informatici è spinosissimo per diversi motivi: 1) gli addetti ai lavori sono poco propensi ad accettare traduzioni. Perfino su hard disk = disco rigido riescono a imbastire distinzioni senza fine; 2) di norma, chi si occupa di linguaggio sa poco o niente di informatica, e fa a sua volta fatica a proporre plausibili equivalenti italiani”. Insomma, è più facile, interessante e gratificante occuparsi del linguaggio della politica o dei media (giornali, radio e televisione).

L’AICA, come istituzione prestigiosa e autorevole, potrebbe, qualora interessata, promuovere tesi/gruppi di studio insieme con gli specialisti del linguaggio più sensibili alla terminologia tecnico-scientifica – non trascurando il coinvolgimento di altre associazioni del settore, in particolare l’AEIT. Un primo concreto risultato della collaborazione potrebbe essere un elenco (parziale e *in fieri*) di termini inglesi dell’ICT classificati in: insostituibili o essenziali, utili, superflui [18]. Senza l’utopistica velleità di arginarne l’invasione, basterebbe rendersi conto che molti anglicismi recepiti crudi (cioè acriticamente) denotano la scarsa fantasia, se non pigrizia mentale, di chi li usa. Ribadisco, infatti, che una non secondaria responsabilità di tecnici, ricercatori e scienziati è il saper dialogare – nei luoghi deputati – mediante una lingua comprensibile anche ai non specialisti. In ogni caso, francesi, spagnoli e tedeschi adottano posizioni meno acquiescenti delle nostre o, assai più spesso di noi, riportano al tempo stesso il traduttore e l’anglicismo. Per tutte queste ragioni, il lessico dell’ICT potrebbe essere l’oggetto di una rubrica, anche a bassa frequenza, di MD¹⁴.

Qualche decennio fa, quando partecipavo agli organismi di normativa internazionali di telecomunicazioni, e dovevo riferire con note o rapporti in italiano, usualmente cercavo di documentarmi sui termini tecnici francesi e spagnoli adottati in pubblicazioni consimili per sfruttare le affinità lessicali tra le lingue neolatine (romanze), sia pur prestando molta attenzione alle insidie dei “falsi amici”. Anche oggi, l’analisi della resa in francese e spagnolo degli anglicismi nel settore ICT potrebbe rappresentare un valido approccio, previa

¹⁴ La rivista *IEEE Spectrum* pubblica con cadenza bimestrale la rubrica “Technically Speaking”.

consultazione sia delle pubblicazioni tecnico-scientifiche sia dei media generalisti (direttamente o con Google).

Spero che, dopo le reminiscenze e considerazioni precedenti, il titolo di questo editoriale non appaia più stravagante e futile, come di primo acchito. Eventuali commenti dei lettori sui punti accennati, o su altri simili, saranno benvenuti.

Bibliografia

- [1] Bonazzi, M. (2017). "Pericle e Gramsci lottano uniti. Agli antipodi del populismo", *la Lettura-Corriere della Sera*, 296 (30 luglio), 11.
- [2] Arpaia, B. (2017). "La gaia scienza" in "Narrate scienziati la vostra storia", *Robinson-la Repubblica*, 33 (16 luglio), 14-15.
- [3] Luvison, A. (2017). "L'ecosistema dell'innovazione digitale: analisi critica", *AEIT*, 3/4 (marzo/aprile), 6-27.
- [4] Bianucci, P. (2008). *Te lo dico con parole tue. La scienza di scrivere per farsi capire*, Zanichelli.
- [5] Dahl, R. (2016). "Lo scrittore automatico" in *Tutti i racconti*, Longanesi, 639-657.
- [6] Sabatini, F. (2017). Intervento a "Uno mattina in famiglia", *Rai 1*, 19 marzo, <http://www.raiplay.it/video/2017/03/UnoMattina-in-famiglia-cbd9bf40-f0fb-41d2-b594-63eeec0df68.html> (ultimo accesso ottobre 2017).
- [7] De Mauro, T. (2016). "È irresistibile l'ascesa degli anglismi?", *Internazionale*, 1161 (14 luglio), <http://www.internazionale.it/opinione/tullio-de-mauro/2016/07/14/irresistibile-l-ascesa-degli-anglismi> (ultimo accesso ottobre 2017).
- [8] Vercellis, C., Piva, A. (2017). *Big Data Analytics. Leve di progettazione, sfide e opportunità, ambiti di applicazione*, Il Sole 24 Ore.
- [9] Serianni, L. (con la collaborazione di Castelvechi, A.) (1997). *Italiano. Grammatica, sintassi, dubbi* (con "Glossario e dubbi linguistici" a cura di Patota, G.), Garzanti.
- [10] AA. VV. (2017). *L'italiano. Conoscere una lingua formidabile* (14 voll.), Accademia della Crusca-Gruppo Editoriale GEDI. (La collana era già uscita con *la Repubblica* tra fine 2016 e inizio 2017).
- [11] Marazzini, C. (2017). *L'italiano. Conoscere una lingua formidabile. 3. Scrivere nell'era digitale*, Accademia della Crusca-Gruppo Editoriale GEDI.
- [12] Biffi, M. (2017). *L'italiano. Conoscere una lingua formidabile. 7. Le parole nella Rete*, Accademia della Crusca-Gruppo Editoriale GEDI.
- [13] Bonomi, I., Maraschio, N. (2017). *L'italiano. Conoscere una lingua formidabile. 8. Giornali, radio e tv: la lingua dei media*, Accademia della Crusca-Gruppo Editoriale GEDI.
- [14] Robustelli, C. (2017). *L'italiano. Conoscere una lingua formidabile. 4. Sindaco e sindaca: il linguaggio di genere*, Accademia della Crusca-Gruppo Editoriale GEDI.

[Della stessa autrice si veda *Donne, grammatica e media. Suggestioni per l'uso dell'italiano* scaricabile dal link http://www.accademiadellacrusca.it/sites/www.accademiadellacrusca.it/files/page/2014/12/19/donne_grammatica_media.pdf (ultimo accesso ottobre 2017)].

[15] Giovanardi, C., De Roberto, E. (2017). *L'italiano. Conoscere una lingua formidabile. 6. L'italiano e le lingue degli altri*, Accademia della Crusca-Gruppo Editoriale GEDI.

[16] DOP – Dizionario italiano multimediale e multilingue d'ortografia e di pronuncia, Rai Eri, <http://www.dizionario.rai.it/> (ultimo accesso ottobre 2017).

[17] Testa, A. *300 parole da dire in italiano*, <http://nuovoutile.it/300-parole-da-dire-in-italiano/> (ultimo accesso ottobre 2017).

[18] Corbolante, L. *Terminologia etc.*, <http://blog.terminologiaetc.it/2012/06/04/pericolo-forestierismi/> (ultimo accesso ottobre 2017).

[19] Eco, U. (1999). *La bustina di Minerva*, Garzanti.

[20] Eco, U. (2017) "Le regole (buffe) di Umberto Eco" in "Italiano per principianti", *Robinson-la Repubblica*, 13 (26 febbraio), 14-19.

[21] Pontiggia, G. (2016). *Dentro la sera. Conversazioni sullo scrivere* (con CD audio), Belleville Editore.

[22] Pontiggia, G. (1991). *Le sabbie immobili*, il Mulino.

[23] Stancanelli, E. (2017). "Le lettere al futuro di Cristina Campo", *Robinson-la Repubblica*, 13 (26 febbraio), 11-12.

[24] Luvison, A., Pirani, G. (1976). "Metodologie sistemistiche nelle telecomunicazioni", *Le Scienze*, 98 (ottobre), 9-15.

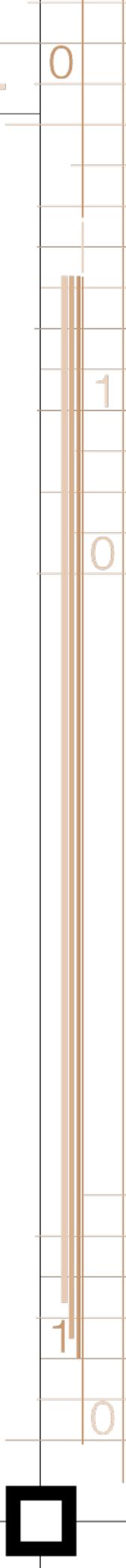
[25] Calvino, I. (1988). *Lezioni americane. Sei proposte per il prossimo millennio*, Garzanti.

[26] Mortara Garavelli, B. (2003). *Prontuario di punteggiatura*, Laterza.

[27] Serafini, F. (2012). *Questo è il punto. Istruzioni per l'uso della punteggiatura*, Laterza.

[28] Salter, J. (2017). *L'arte di narrare*, Guanda.

Angelo Luvison
Comitato Scientifico di *Mondo Digitale*



L'informatica: non è un paese per donne

Chiara Bodei e Linda Pagli

Sommario

Siamo proprio sicuri che l'informatica sia sempre stata materia appannaggio degli uomini? Le storie di donne che qui raccontiamo - quelle di Ada Lovelace Byron, delle ragazze del frigorifero, e di Jean Sammet - vanno a confutare questa certezza: sono modelli a cui ispirarsi mentre il numero di ragazze che studiano informatica pare essere in calo.

Abstract

Are we really sure that computer science has always been a subject for men only? The stories of women we are going to tell - those of Ada Lovelace Byron, of the refrigerator ladies, and of Jean Sammet - may lead to refute this certainty: they represent inspiring models for girls, in a period in which the number of female students in computer science is getting lower.

Keywords: Programmatrici, Ada Byron Lovelace, ENIAC, Jean Sammet, macchina analitica, computer, Cobol.



1. Introduzione

Secondo la media stimata dall'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico (OCSE), nei 35 paesi europei meno di un laureato in informatica su cinque è donna. L'informatica, così come ingegneria, matematica e fisica, è tuttora considerata materia poco adatta al genere femminile. E se fino ai 13, 14 anni la metà di bambini e bambine si mostra comunque orientata verso qualcosa di scientifico, alle scuole superiori l'interesse delle ragazze diminuisce drasticamente. Le studentesse universitarie sono quindi poche, come poche sono le informatiche nel mondo del lavoro e della ricerca. Ma non è stato sempre così, anzi. Fin dagli albori dell'informatica molte donne hanno contribuito allo sviluppo e al consolidarsi di questa disciplina, soprattutto le laureate in matematica, attratte dalle possibilità misteriose e infinite della nuova macchina. Addirittura negli anni '50 e '60 la carriera di programmatrice negli Stati Uniti era considerata particolarmente adatta a loro. Una delle ragioni era che occuparsi del *software* era ritenuta un'attività subalterna rispetto a quella di chi si occupava dell'*hardware*, il cuore pulsante di una macchina. Programmare sembrava un'attività ripetitiva e poco interessante, e per questo motivo poteva essere lasciata alle donne. Si cita a questo proposito un articolo apparso nel 1967 su *Cosmopolitan* [1], intitolato "*The Computer Girls*", dove si diceva che "*Now have come the big dazzling computers - and a whole new kind of work for women: programming*", più avanti definito come insegnare alle macchine "*what to do and how to do it*". Si riprendevano le parole di Grace Hopper, pioniera dell'informatica nonché contrammiraglio della Marina statunitense, che paragonava il lavoro di programmazione a quello di pianificazione di una cena: "*You have to plan ahead and schedule everything so it's ready when you need it.*"

Poco dopo si intuì tuttavia il ruolo fondamentale del software, destinato ad avere nell'informatica uno sviluppo rapidissimo sia nella complessità sia nell'importanza. Il progetto del software si rivelò un'attività intellettualmente complessa e creativa. Anche i salari cominciarono ad aumentare e la loro crescita determinò l'accendersi di un fin lì assente interesse degli uomini verso la programmazione. Denigrare il lavoro femminile fu il primo passo per appropriarsi di un campo diventato di colpo appetibile. Famosa una campagna pubblicitaria per la Optical Scanning Corporation Ran [2], che si domandava "*What has teen legs, eight waggly tongues and costs you at least \$40,000 a year?*" e rispondeva "*Your team of 8 female programmers, that's what.*"

E che dire delle informatiche italiane? Il primo corso di laurea in informatica, chiamato "Scienze dell'informazione" fu aperto a Pisa nell'anno accademico 1969/70. Seguirono altri tre corsi di Scienze dell'informazione a Bari, Salerno e Torino l'anno successivo. Ebbene in quegli anni la percentuale femminile delle studentesse era circa del 25% con un picco di oltre il 30% nel 1981. La nuova scienza informatica aveva un grande fascino che riusciva ad attrarre anche le ragazze. La percentuale è rimasta stabile per vari anni, facendo dell'informatica una dei corsi di laurea scientifici più bilanciati dal punto di vista del genere. Negli anni '90, la partecipazione femminile è iniziata a calare fino a raggiungere livelli minimi nel 2012, con solo l'8% di matricole donne. Oggi si assiste a una

leggera ripresa e nell'anno 2016/2017 la percentuale è pari al 13,6%. Il fenomeno è comune a tutte le università italiane ed estere con percentuali paragonabili [3].

Il fenomeno sembra essere andato di pari passo con il diffondersi dei personal computer prima e successivamente con lo sviluppo e il consolidarsi della rete. Il personaggio del "nerd", antisociale e attaccato alla rete fino a ore tarde, che mangia panini e beve birre davanti al computer, diventato stereotipo degli informatici moderni grazie a film e a serie televisive, non esercita forse grande attrattiva sulle ragazze.

Una tendenza dovuta quindi più a questa stereotipizzazione che all'informatica in sé, che resta un campo ancora pieno di sfide da superare e di terre da scoprire, in cui anche le donne possono a pieno titolo avventurarsi, portando magari un po' di vitale scompiglio e il loro contributo alla riflessione critica sulle enormi possibilità che oggi la rete offre [4].

Proprio per questo vale la pena ripercorrere le storie di quelle che hanno dato un importante contributo alla materia e che possono servire da modello per le ragazze che decidono di dedicarsi, alla luce delle difficoltà che nel corso del loro percorso hanno incontrato e superato.

Limitandoci a un primo sguardo al pantheon delle informatiche di riferimento, non possiamo che partire da un cenno alla più celebre e raccontata (anche su Mondo Digitale, [5, 6]), Ada Byron, per passare poi alla storia delle cosiddette "ragazze frigorifero", dimenticate pioniere in un difficile contesto bellico, e concludere infine con un omaggio alla poliedrica e dai meriti non del tutto riconosciuti Jean Sammet, scomparsa proprio quest'anno.

Un primo approccio a una possibile storia al femminile dell'informatica, in cui figure brillanti e determinate emergono con la forza dei loro contributi e non certo solo per l'eccentricità della loro presenza in un universo tutto maschile.

2. Ada

Ada ha solo diciassette anni, nel giugno del 1833, quando incontra Charles a una festa a Londra. Charles è vedovo e ha da poco superato i 40. Non è l'inizio di una storia d'amore ma quello di un lunghissimo e fruttuoso sodalizio. Charles fa di cognome Babbage ed è un famoso matematico e scienziato. Ada (ritratta in Figura 1) non è una ragazza qualsiasi: ha una cultura, una vivacità, una sensibilità che la rendono diversa e capace di cogliere quello che altri non vedono. I due iniziano a parlare, a conoscersi e Babbage le spiega di cosa si sta occupando. La "macchina alle differenze", la sua invenzione. Ada rimane affascinata da questa macchina in grado non solo di eseguire le operazioni con numeri fino a sei cifre ma anche di risolvere equazioni polinomiali e altri problemi matematici.

Ada (1815-1852) invece è la figlia del poeta George



Figura 1
Una giovane Ada

Byron e di Anne Isabella Milbanke, ed è grazie alla sua formazione, inusuale per una fanciulla del suo stato all'epoca, se comprende il valore di ciò che Babbage ha inventato e a capirne la forza innovatrice.

A pochi mesi della nascita, i genitori di Ada si separano burrascosamente e lei viene quindi cresciuta dalla madre che, con rigore e ripicca, la tiene lontana da poesia e letteratura, avviandola allo studio della matematica e della scienza. La formano prima precettori privati, poi matematici di fama come Mary Sommerville e August De Morgan. Conosce inoltre personaggi del calibro di Darwin, Dickens e Faraday.

Babbage ne diventa presto amico e mentore, apprezzandone non solo le doti matematiche ma anche l'immaginazione, forse coltivata di nascosto dalla madre o forse ereditata dal padre, che sempre la accompagnerà nei suoi studi scientifici. La ribattezza infatti "incantatrice di numeri" [7], forse per analogia con l'epiteto che Byron aveva dato a sua madre: "la principessa dei parallelogrammi".

A vent'anni sposa il conte di Lovelace: nonostante gli impegni di famiglia e la nascita dei tre figli (Byron, Annabella e Ralph) Ada continua a ritagliarsi uno spazio per gli studi e a frequentare Babbage, appassionandosi sempre più al suo nuovo progetto, la "macchina analitica" (*analytical engine*).

Più potente della macchina alle differenze (*difference engine*), questa non si limita semplicemente a fare i calcoli: può programmare il tipo di operazioni richieste, attraverso l'immissione di schede perforate. L'ispirazione era venuta a Babbage osservando le schede usate per dirigere le operazioni dei telai di Jacquard. Il sistema di aghi attraversava la stoffa solo in corrispondenza del foro della scheda perforata. Analogamente nel carillon, la musica ottenuta dipende dall'incontro degli aghi con i punti in rilievo sul cilindro che ruota. Nella macchina analitica l'output doveva essere offerto perforando apposite schede di uscita. I calcoli erano eseguiti su numeri decimali, anche con la virgola. La macchina possedeva poi un *deposito* ("store") per conservare i dati (capace di contenere 1000 numeri di 50 cifre ciascuno) e un *mulino* ("mill") per manipolare ed elaborare i dati. Le istruzioni da impartire alla macchina consentivano la diramazione in base al valore di una condizione e i cicli, cioè sequenze di istruzioni che possono ripetersi. Insomma un computer *ante litteram*.

Della nuova invenzione Babbage parla a Torino nel settembre del 1840, dove si reca per l'invito di Antonio Amedeo Plana, professore di Astronomia presso l'Università piemontese, a partecipare al Secondo Congresso degli Scienziati Italiani (oggi diremmo CSI'40). Come si può constatare dall'estratto degli atti del convegno [8, pagina 47] riportato di seguito, Babbage presentò tuttavia il progetto della sua macchina non al congresso, ma a un gruppo ristretto di studiosi (tra cui Plana stesso, Ottaviano Fabrizio Mossotti e Luigi Federico Menabrea) che ricevette privatamente nel proprio alloggio.

"Aggiungiamo che il chiarissimo sig. Babbage di Londra, venuto ad illustrare la nostra Adunanza, raccolse più volte nella sua abitazione parecchi membri della nostra Sezione, mostrando diverse produzioni del suo fecondo ingegno, e fra le altre cose descrivendo il progetto di una ingegnosissima macchina per eseguire

i calcoli sì numerici che algebrici, macchina che ove potesse essere effettivamente costrutta, sarebbe al certo di un grandissimo vantaggio alla Società."

Il resoconto della sua relazione viene affidato all'ingegner Luigi Federico Menabrea (futuro primo ministro del regno d'Italia, dal 1867 al 1869) che lo scrive in francese e lo pubblica nel 1842 sulla rivista svizzera *Bibliothèque Universelle de Genève* [9]. È Ada a tradurla in inglese e a corredarla di note a piè di pagina e di sette ampie note a parte (dalla A alla G) che da sole occupano più spazio del resoconto stesso [10].

Ada crede nella nuova macchina, ne intuisce le potenzialità e appoggia Babbage nel tentativo di trovare finanziamenti per la sua ricerca. Un fallimento. La macchina analitica di Babbage in realtà non sarà finanziata e i primi computer verranno ideati e costruiti un secolo dopo, non sulla base del progetto di Babbage. La macchina di Babbage viene "realizzata" solo nelle uchronie steampunk, un particolare filone narrativo di fantascienza nel quale si immagina un'epoca vittoriana alternativa e fantastorica, in cui la forza propulsiva è data dal vapore e computer meccanici come la macchina analitica esistono e funzionano.

Nella prima nota sulla macchina di Babbage Ada afferma che *"We may say most aptly that the Analytical Engine weaves algebraic patterns just as the Jacquard-loom weaves flowers and leaves."*

È il suo commento più famoso, il più poetico e visionario, in cui dimostra di essere al tempo stesso figlia di suo padre e di sua madre. Ben comprendendo il funzionamento della macchina, Ada ne capisce la potenza e ne intuisce l'uso anche simbolico.

Ma sono innumerevoli i commenti di Ada che colpiscono perché, rovistando tra le sue descrizioni lontane dallo stile asciutto della prosa scientifica di oggi, ritroviamo concetti moderni ai quali l'informatica ci ha abituato ma che lei e Babbage potevano solo immaginare.

Quando Menabrea, all'inizio del suo resoconto, fa notare che la macchina di Pascal si limita a fare le quattro operazioni mentre la macchina di Babbage ha un obiettivo molto più ambizioso (*"nothing less than the construction of a machine capable of executing not merely arithmetical calculations, but even all those of analysis, if their laws are known"*), Ada rimarca questa differenza in una nota a piè di pagina, aggiungendo che la macchina analitica è capace di eseguire le quattro operazioni, ma che esse vanno viste come punto di partenza per fare i calcoli, grazie alle loro possibili combinazioni.

Riprende poi il concetto della generalità della macchina progettata da Babbage nella Nota A, dove la contrappone alla macchina alle differenze.

"... the engine may be described as being the material expression of any indefinite function of any degree of generality and complexity... In this, which we may call the neutral or zero state of the engine, it is ready to receive at any moment, by means of cards constituting a portion of its mechanism (and applied on the principle of those used in the Jacquard-loom), the impress of whatever

special function we may desire to develop or to tabulate. These cards contain within themselves (in a manner explained in the Memoir itself) the law of development of the particular function that may be under consideration, and they compel the mechanism to act accordingly in a certain corresponding order... These cards, however, have nothing to do with the regulation of the particular numerical data. They merely determine the operations to be effected, which operations may of course be performed on an infinite variety of particular numerical values, and do not bring out any definite numerical results unless the numerical data of the problem have been impressed on the requisite portions of the train of mechanism." Un bel modo per accennare ai parametri formali e attuali.

E ancora Ada ritiene la macchina così universale da poter operare non solo su numeri, ma su tutti gli oggetti legati da relazioni tra loro e manipolabili simbolicamente. Torna qui l'amore per la musica perché anche i suoni possono essere manipolati.

"The operating mechanism can even be thrown into action independently of any object to operate upon (although of course no result could then be developed). Again, it might act upon other things besides number, were objects found whose mutual fundamental relations could be expressed by those of the abstract science of operations, and which should be also susceptible of adaptations to the action of the operating notation and mechanism of the engine. Supposing, for instance, that the fundamental relations of pitched sounds in the science of harmony and of musical composition were susceptible of such expression and adaptations, the engine might compose elaborate and scientific pieces of music of any degree of complexity or extent."

In un'altra nota a piè di pagina Ada puntualizza che la macchina è in grado di scoprire quale delle due più "contingencies" si è verificata e proseguire di conseguenza, accennando così al concetto di diramazione. Inoltre nella Nota E, Ada accenna ai concetti di ciclo e di annidamento.

"A cycle of operations, then, must be understood to signify any set of operations which is repeated more than once... In many cases of analysis there is a recurring group of one or more cycles; that is, a cycle of a cycle, or a cycle of cycles."

Nell'ultima nota, oltre a invitare a non sopravvalutare la macchina ("The Analytical Engine has no pretensions whatever to originate anything. It can do whatever we know how to order it to perform"), Ada presenta una sorta di programma per calcolare i numeri di Bernoulli, al quale si deve la sua consacrazione come prima programmatrice della storia. Per questo motivo è stato dedicato ad Ada, prendendone il nome, un linguaggio di programmazione sviluppato dal Dipartimento della difesa degli Stati Uniti nel 1979.

Le note sono il frutto di costanti scambi con Babbage, compresa la Nota G. È quindi difficile stabilire con precisione la natura del suo contributo. Come discusso in [6] ci sono in letteratura giudizi più critici [11,12] e meno critici [7, 13]). Se fosse stato un uomo ad aiutare Babbage, sarebbe stato valutato nello stesso modo? Forse non avrebbe suscitato altrettanto interesse, mentre la figura di Ada si prestava a diventare un'icona femminile della programmazione.

Nessuno tuttavia sarebbe andato a misurare criticamente il suo contributo scientifico con tanta pedissequa attenzione. Ne è riprova il modo ambivalente in cui è stata trattata la visione poetica della scienza che l'ha connotata, e che, a giudicare dalle note più tecniche niente toglie al rigore. Da una parte ha affascinato, dall'altra ha generato diffidenza e la convinzione che questo tipo di approccio abbia potuto costituire una scorciatoia cognitiva per evitare le asperità del discorso scientifico.

3. Le ragazze del frigorifero

Chi sono le giovani donne nella foto in bianco e nero in Figura 2? Tutte rigorosamente in gonna secondo la moda del tempo, armeggiano con cavi inseriti all'interno di un grande e strano macchinario. Di che si tratta? Il macchinario è l'ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), il primo computer elettronico digitale di tipo *general purpose*. A distanza di anni fu detto che le ragazze erano *Refrigerator ladies*, ragazze del frigorifero, modelle usate con la loro presenza per pubblicizzare il primo computer, così come si usava fare anche con altre macchine o elettrodomestici tipo il frigorifero. Ma quelle ragazze non erano modelle. Erano fior fiore di matematiche, selezionate tra le migliori degli Stati Uniti, chiamate a un compito importantissimo: calcolare le traiettorie dei proiettili delle nuovi armi da guerra, usando il computer [14,15,16,17,18,19]. L'ENIAC funzionò la prima volta nel febbraio 1946 calcolando la traiettoria di una bomba in un tempo minore di quello impiegato dalla bomba a toccare terra: così recitava la pubblicità dell'evento. Era un bestione di 180 metri quadri, che pesava 30 tonnellate con dentro più di 17.000 valvole, di quelle grandi di vetro che usavano una volta.

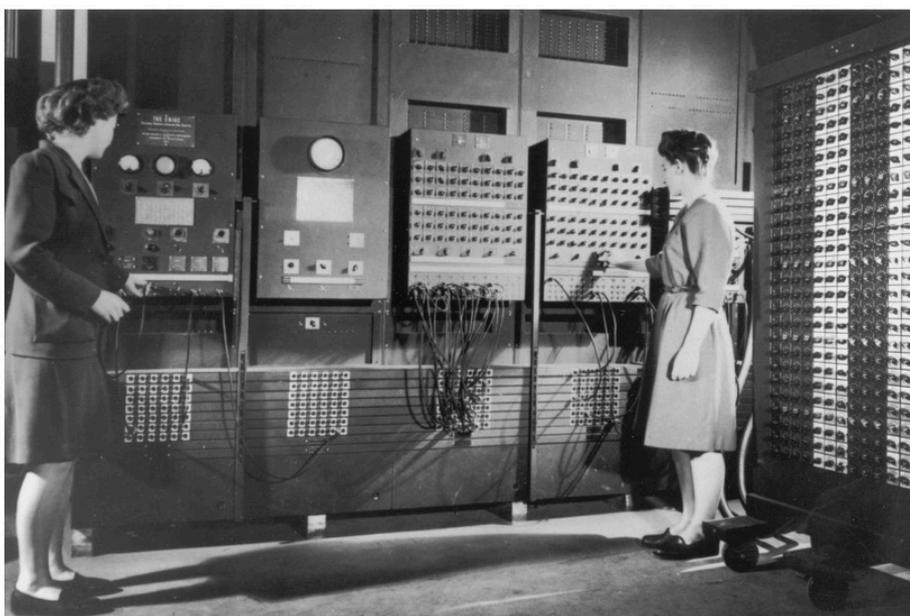


Figura 2
Refrigerator ladies.

Progettato per ordine del ministero della difesa americano, durante la seconda mondiale, espressamente per il calcolo veloce delle traiettorie, l'ENIAC fu completato in tempo relativamente breve dagli ingegneri progettisti della Moore School of Electrical Engineering di Filadelfia, Presper Eckert e John Mauchly. La macchina si distingueva dalle precedenti perché di tipo *general purpose*: poteva cioè eseguire programmi diversi e non solo un'unica funzionalità, come avevano fatto le macchine precedenti. Una volta pronto il macchinario, si poneva dunque il problema generale di svilupparne il software e in particolare di programmare prontamente i complicati calcoli balistici, richiesti dal ministero della difesa.

Facciamo un passo indietro. All'inizio della seconda guerra mondiale, circa duecento persone furono arruolate come calcolatori o *computer*, parola che a quei tempi si riferiva a persone capaci di eseguire complicati calcoli matematici senza errori. La maggioranza era costituita da donne, giovani matematiche selezionate tra le migliori di varie università americane, visto che i giovani abili erano tutti in guerra. Il lavoro di computer era complesso, ma ripetitivo e tedioso, veniva tipicamente considerato adatto alle donne, che pare lo svolgessero in modo più accurato e veloce dei colleghi maschi. I computer umani dovevano eseguire complicati calcoli balistici per i proiettili lanciati dalle nuove armi da guerra. Il lavoro delle computer richiedeva tuttavia un altissimo livello di specializzazione matematica, che includeva anche la risoluzione di equazioni differenziali non lineari a molte variabili. Il loro compito era quello di generare le cosiddette tavole *firing* e *bombing*, da utilizzare nei calcoli. Un lavoro fondamentale per lo sforzo bellico. L'elaborazione di ciascuna tavola richiedeva il calcolo di 2000-4000 traiettorie diverse, oltre a diversi altri calcoli ausiliari e di verifica. Non stupisce, con queste premesse, che il tempo di calcolo stimato per una traiettoria di 30 secondi fosse di 20 ore/uomo (o donna, nello specifico!). Anche ricorrendo a macchine del tipo *Differential Analyzer* di Vannevar Bush, macchina analogica dedicata per l'integrazione, il tempo di calcolo si riduceva a 15/30 minuti, ma risultava molto meno preciso di quello ottenuto manualmente.

Quando fu il momento di programmare l'ENIAC per realizzare gli stessi calcoli balistici, le candidate con la competenza maggiore per rivestire l'incarico furono proprio le computer. Furono selezionate le sei più brillanti, tutte laureate in matematica e poco più che ventenni. Incoraggiate dalla qualità innovativa del lavoro e dalla possibilità di contribuire alla guerra, le sei ragazze accettarono con entusiasmo probabilmente non rendendosi pienamente conto della difficoltà e dell'importanza dell'incarico assegnato. Furono introdotte ai rudimenti del computer da Herman e Adele Goldstine, una coppia di pionieri dei computer, che insegnarono alle ragazze come funzionavano le varie componenti e i circuiti della macchina. Il loro lavoro ovviamente era condizionato dal modo in cui l'ENIAC era costruito, perché dovevano programmare a livello della macchina. Significava capire ogni volta come spostare interruttori e cavi di collegamento per ottenere il calcolo richiesto. Il loro compito era molto arduo, implicava adottare nuovi schemi mentali, inventarsi modi di procedere, fare fronte ai limiti fisici imposti dalla macchina e ad altri impedimenti enormi. Infatti non avevano a disposizione linguaggi di programmazione, né manuali, né un sistema operativo.

Inoltre dato che il progetto ENIAC era stato commissionato e doveva servire per scopi militari, non fu mai rivelato loro completamente.

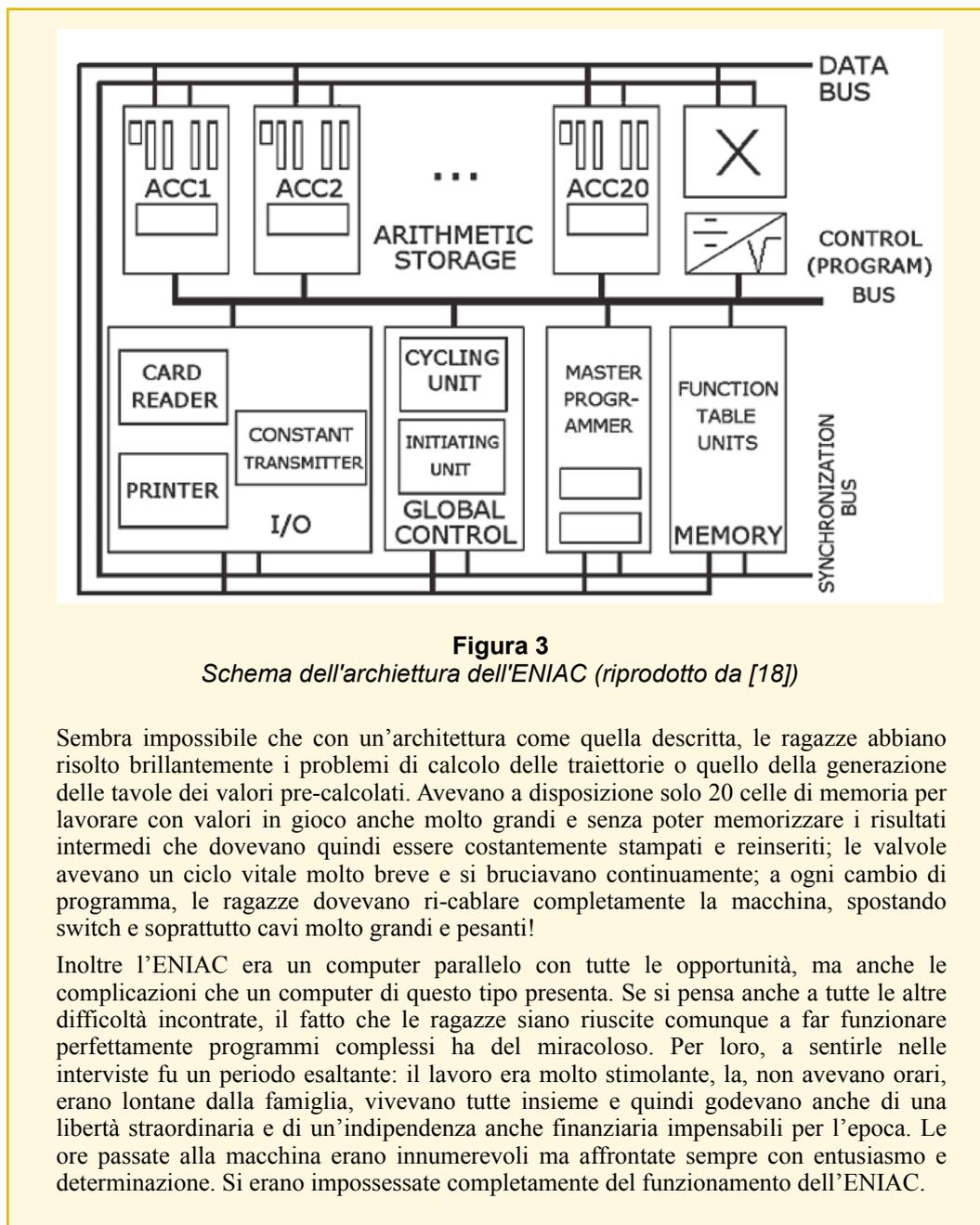
RIQUADRO 1: Programmare l'ENIAC

Dover programmare l'ENIAC richiedeva non solo dimestichezza con la programmazione ma una grande familiarità con la macchina, e quindi una conoscenza approfondita dell'hardware. Per capire la macchina, dovettero fare esperimenti su esperimenti, ma arrivarono a padroneggiarla al punto da saper individuare un guasto a livello della singola valvola. Le sei ragazze riuscirono nell'impresa, diventando così le prime programmatrici moderne. Per apprezzare pienamente il lavoro originale e il tipo di problemi che dovettero affrontare, bisogna descrivere un po' più in dettaglio la struttura dell'ENIAC.

L'architettura dell'ENIAC [20,21] era composta da cinque diversi blocchi funzionali come mostrato dallo schema di Figura 3. La sua architettura non era di tipo *Von Neumann*, vale a dire priva del programma memorizzato e non funzionava secondo il ciclo *estrai-esegui* delle istruzioni del programma. Se si vuole usare un termine specialistico si tratta di un'architettura di tipo *data flow*, ove il flusso dell'esecuzione dipende dai dati e permette di programmare più istruzioni in parallelo. L'informazione non era ancora rappresentata da bit come in tutti i computer successivi ma usava cifre in base dieci. L'unità di memoria era veramente piccolissima, soltanto 20 registri per la lettura o la scrittura di un valore di 10 cifre decimali ciascuno, dimensioni che fanno veramente sorridere rispetto a quelle odierne, anche solo di un cellulare. I registri potevano funzionare anche da accumulatori, cioè erano in grado di sommare al valore memorizzato un nuovo valore in ingresso. Questa operazione poteva anche essere ripetuta varie volte. Le diverse modalità di funzionamento delle celle di memoria/accumulatori erano regolate da una serie di comandi (detti *switch*) associati a ciascun accumulatore e direttamente programmabili. Ciascun accumulatore poteva ricevere in ingresso un valore da 5 diversi canali, essere connesso a uno o più altri accumulatori oppure a ogni altra unità utile (*ingresso, tabelle delle funzioni, master programmer*).

La sottrazione si eseguiva con la somma del complemento a 10, mentre moltiplicazione, divisione e radice quadrata potevano essere eseguite soltanto nella componente all'estrema destra nello schema, e solo una alla volta. Moltiplicazioni e divisioni per piccoli valori potevano anche essere realizzate con la ripetizione di somme e sottrazioni direttamente negli accumulatori. I valori su cui operare erano inseriti attraverso l'unità di ingresso/uscita, dotata sia di un lettore di schede perforate che di un pannello per inserire direttamente i valori costanti e infine di una stampante per i risultati.

Dunque l'ENIAC poteva elaborare soltanto dati memorizzati su 20 registri decimali, senza contare le tabelle dei numeri e le costanti manualmente. L'unità di temporizzazione (*cycling unit*) che forniva i treni d'impulsi per sincronizzare le operazioni e l'unità di avvio, era collocata nell'unità di controllo. Programmare e cambiare programma era molto complicato, dato che il controllo non conteneva nella sua memoria il programma da eseguire. Si adottava la cosiddetta *direct programming*, per cui si doveva intervenire direttamente nella connessione delle unità con i cavi e cambiare le impostazioni e i settaggi degli switch. Di fatto equivaleva a riprogettare l'ENIAC dall'inizio per farlo funzionare ogni volta come un computer dedicato alla risoluzione di un problema specifico. L'unità *function table unit* era una memoria a sola lettura per memorizzare le tabelle a valori pre-calcolati di funzioni note, utili a facilitare il calcolo di una funzione più complessa. La *master programmer* veniva usata per i cicli o per far partire calcoli diversi contemporaneamente. Erano previste inoltre due linee di comunicazione principali, dette bus, una per il trasporto dei comandi di controllo (*control bus*) e una per il trasporto dei dati (*data bus*), in grado di trasportare un valore di dieci cifre per volta per mezzo di un connettore a dieci linee. Bisogna aggiungere poi il bus di sincronizzazione, che mandava i relativi impulsi. Le unità non erano collegate ai bus in modo fisso, ma connesse ogni volta in modo funzionale allo specifico programma. Stava a chi programmava di trovare e disporre l'interconnessione appropriata. Un esempio di programma ENIAC per calcolare le tavole dei quadrati e dei cubi si trova in [16].



Alla fine della guerra le ragazze erano ancora occupate nel completamento dei programmi per l'ENIAC. La dimostrazione del primo programma funzionante avvenne il primo di febbraio del 1946, era quello della traiettoria di una bomba; la dimostrazione fu preceduta da un gran battage pubblicitario che attrasse l'attenzione di tutti i media. Si racconta che la sera precedente alla dimostrazione, il programma funzionasse perfettamente *eccetto* il fatto che non

la smettesse di calcolare quando avrebbe dovuto fermarsi, cioè all'impatto col terreno. Le ragazze lavorarono fino alle due di notte provando e riprovando senza successo. Durante la notte Jean Bartik, una delle sei ebbe l'illuminazione, pare sognando. La mattina dopo cambiò la posizione di uno *switch* sul Master Programmer e il problema si risolse. Il programma funzionò perfettamente, riuscì a calcolare la traiettoria di una bomba in un tempo minore di quello impiegato dalla bomba stessa a toccare terra, mille volte più veloce di ogni calcolo precedente. La dimostrazione fu perfetta [15].

Jean Jennings Bartik, Frances Elizabeth Snyder, Kathleen McNulty, Marlyn Wescoff, Ruth Lichterman e Frances Bilas erano le sei protagoniste di questa storia. La loro attività ha la dignità di un lavoro scientifico pionieristico di valenza paragonabile al progetto dello stesso ENIAC. Il loro prezioso contributo fu fondamentale per lo sviluppo di altri programmi importanti e dei modelli seguenti di computer. Jenny Bartik negli anni successivi divenne parte di un gruppo, di cui faceva parte anche Von Neumann, incaricato di convertire l'ENIAC, in un computer a programma memorizzato [24]. Molte di loro furono insegnanti e progettiste, la loro competenza fu alla base dello sviluppo di tutto il software successivo. Al tempo il loro lavoro rimase offuscato da quello degli ingegneri progettisti. Addirittura non furono nemmeno invitate alla cena di gala dopo la dimostrazione [23]. La loro storia si perse, rimase solo quella dei progettisti dell'hardware che ottennero invece tanti premi e riconoscimenti. Le ragazze sono rimaste a fare le "Refrigerator ladies" nelle foto di repertorio per un lungo periodo [25].

Poi, una giovane studentessa di Harvard, Kathy Kleiman, programmatrice anch'essa e in cerca di modelli femminili a cui ispirarsi, venne a sapere della loro esistenza. Era il 1985, le andò a cercare ed ebbe la fortuna di trovarle quasi tutte ancora in vita. Poté così realizzare una serie di preziose interviste, che ha permesso di riscoprire la loro storia e il valore del loro contributo. Da questa esperienza sono nati due documentari: "Top Secret Rosies: The female Computers of WW II", nel 2010 [23] e "The computers. The Remarkable Story of the ENIAC Programmers" [26] presentato al festival internazionale di cinema a Seattle nel maggio del 2014.

4. Jean

Pur figlia di due avvocati, e in una città come New York, essere donna negli anni '40 significa dover superare molte barriere. La Bronx High School of Science ad esempio non la accetta: non importa che fin da bambina sia stata affascinata da "the number stuff" [27], se sei una ragazza non puoi frequentare i corsi di matematica.

Jean E. Sammet (1928-2017) si iscrive allora ad una scuola femminile e poi ottiene il baccalaureato in matematica al Mount Holyoke College (South Hadley, MA), per poi proseguire gli studi all'Università dell'Illinois di Urbana-Champaign, dove ottiene il master nel 1949.

Comincia a lavorare come analista matematica, occupandosi anche del programma di sottomarini della Marina, alla Sperry Gyroscope (New York).

Quando l'azienda decide di costruire un computer digitale, il capo di Jean le chiede se è interessata a diventare programmatrice. Domandando in che cosa consistesse questo tipo di lavoro, Jean stessa racconta [28] che ottenne dal capo la risposta "*I don't know, but we need one!*". Accetta e scopre che programmare le piace moltissimo, anche se in seguito dirà che "*It was very hard. There were no books, no manuals - I had to write the manual for the machine I was working on. Although there were a few professionals in the field at the time, I didn't know any of them. There wasn't anybody to talk to so I just taught myself. Sounds strange but it's true.*"

Sul perché le piacesse programmare, disse [28] invece che "*It's almost like a jigsaw puzzle. You're putting together various pieces of code and you have to get everything to fit. When the program works, it's an enormous sense of satisfaction. It's a little bit hard to tell you why it's so fun to do this, all I'm saying is that it is.*"

In altre occasioni [29] aveva raccontato di aver seguito un nuovo assunto e che dopo averlo lasciato per un'ora a programmare, lo aveva trovato sorridente nonostante il suo programma non funzionasse.

"*Well, why are you looking so happy?*" chiese allora la Sammet.

"*I can't believe they're paying me to have all this fun*" fu la sua risposta.

Ormai appassionata alla programmazione e ai computer, decide di spostarsi in un'azienda più centrata sul loro utilizzo. Racconta di aver guardato prima gli annunci di lavoro per le donne (all'epoca gli annunci erano separati per genere!) senza scoprire nulla di interessante e poi quella degli uomini, trovandovi, in mancanza di un posto da programmatrice, una da ingegnere. Viene così assunta dalla Sylvania Electric Products, per sovrintendere allo sviluppo del software per il U.S. Army's Mobile Digital Computer (MOBIDIC).

Nel 1956, per un paio di anni, comincia a insegnare uno dei primi corsi di programmazione a livello graduate, al dipartimento di matematica applicata dell'Adelphi College di Long Island.

Nel 1959 entra a far parte di un gruppo che chiede al governo di finanziare lo sviluppo di un linguaggio comune per le applicazioni commerciali (common business oriented language). Il Pentagono dà seguito alla richiesta istituendo varie commissioni. Jean Sammet fa parte di quella che analizza i linguaggi esistenti e che mette a punto le specifiche del nuovo linguaggio richiesto, soprannominato poi COBOL 60.

Successivamente entra a lavorare all'IBM, dove rimarrà fino alla pensione. Sempre durante gli anni sessanta, sviluppa il linguaggio FORMAC (Formula Manipulation Compiler), un sistema algebrico basato sul FORTRAN che si affermerà come il primo linguaggio per la manipolazione algebrica delle formule matematiche [30].

Dopo esserne stata membro a lungo, è la prima donna ad essere presidente dell'ACM (Association for Computing Machinery) dal 1974 al 1976.

Oltre a essere una programmatrice, Jean Sammet ha anche a cuore la sistemazione delle conoscenze e la documentazione storica dell'informatica.

Nel 1969 esce il suo libro sui linguaggi di programmazione "Programming languages: History and Fundamentals" [31], uno dei primi libri su questo argomento, dove vengono presentati e confrontati almeno 120 linguaggi, come anticipato dalla evocativa copertina in Figura 4. La copertina del libro di Jean Sammet., in cui si vede una torre di Babele, tappezzata con i nomi dei linguaggi presentati.

Introduce e cura i primi convegni sulla storia dei linguaggi di programmazione: ACM SIGPLAN History of Programming Languages (HOPL) conference, compito tutt'altro che semplice, come notato dalla stessa Sammet, in un mondo in cui ci si concentra più sul lavoro futuro che sul guardarsi indietro.

Jean Sammet, da poco mancata, è approdata nel mondo della programmazione in anni in cui i programmatori erano pochi e le donne erano ben accette, come lei stessa [27] chiosa *"there was relatively little discrimination against women, ..., it didn't matter whether you had three heads"*. Il suo lavoro sui linguaggi di programmazione ha avuto molti riconoscimenti, tra cui il Lovelace Award dall'associazione for Women Computing nel 1989 e, nel 2009, il Pioneer Award dal National Center for Women & Information Technology.

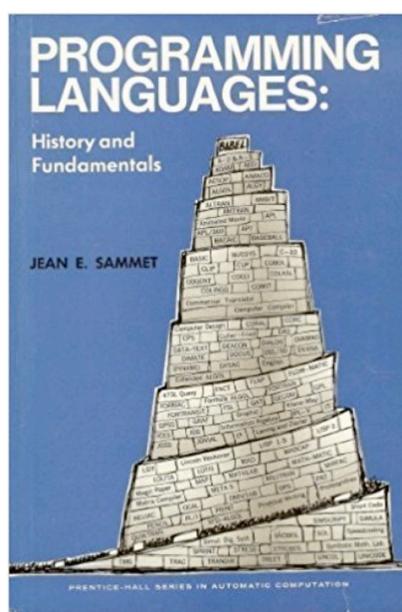


Figura 4
La copertina del libro di Jean Sammet.

Tuttavia nella narrazione della storia del COBOL, spesso il nome di Jean non appare, mentre si parla di Grace Hopper come la "la madre del COBOL". Anche se alcune delle idee embrionali che influirono sulla progettazione provengono proprio dalla Hopper, spetta alla Sammet perlomeno condividere la maternità, avendo fatto parte della commissione che portò allo sviluppo del linguaggio, come spesso ha puntualizzato quest'ultima [32].

In ogni caso quella di Grace Hopper è un'altra storia che merita di essere raccontata, ma il nostro spazio è finito.

5. Conclusioni

L'informatica, troppo spesso confusa con gli strumenti e le tecnologie che pure sviluppa e usa, perde il suo fascino agli occhi delle donne e la rete sembra terreno sempre più maschile. Ma se la percezione della materia è cambiata nel corso del tempo, la sua natura è rimasta uguale e la rete ha addirittura ampliato lo spettro dei problemi ancora da risolvere e le sfide da raccogliere.

La gestione di enormi quantità di dati per fare analisi predittive e la necessità di prendere decisioni informate ha creato il bisogno di nuove metodologie e ha trovato applicazione nei settori più svariati, dall'economia al mondo industriale

(secondo l'ormai noto slogan "data is the new oil"). Gli algoritmi di apprendimento automatico dell'intelligenza artificiale sono ormai pervasivi e condizionano anche il modo in cui Google sceglie per noi i dieci link più interessanti in risposta ad ogni nostra richiesta. L'Internet delle cose, ovvero l'estensione di Internet a dispositivi fisici come i sensori, in grado di interagire con l'ambiente fisico e comunicare con le altre entità, è un ulteriore scenario tutto da scoprire: si calcola infatti che saranno 30 miliardi le cose collegate entro il 2020. Cambierà di conseguenza il nostro modo di rapportarci con la rete, portandoci a farlo sempre più attraverso le cose. Già adesso è possibile fare ordini di particolari merci premendo semplicemente un tasto su un apposito dispositivo.

Queste sono naturalmente solo alcune delle aree nuove e in fortissima espansione che stanno ridisegnando i limiti di ciò che i computer possono fare. Quella digitale è del resto una rivoluzione senza precedenti con ampie ricadute sulla vita di tutti. Ecco che attraverso la capacità di "pensare computazionalmente" i fenomeni naturali e artificiali, fornendo astrazioni del loro comportamento, si sviluppa un nuovo modo di comprendere e modellare la realtà che ci circonda. Tanto da farne una competenza trasversale, degna di essere insegnata nelle scuole.

Su queste basi l'informatica risulta perciò essere una meta-disciplina, in grado di risolvere (in modo algoritmico) problemi che emergono in altri ambiti, grazie al fatto che i suoi modelli astratti sono anche eseguibili. Basti pensare ai virtuosi legami tra materie create, ad esempio, nei campi della bioinformatica, dell'informatica umanistica o in quella per l'economia.

È possibile allora che in un simile, effervescente contesto le donne abbiano tanto poco da regalare a questa scienza da essere numericamente relegate ai suoi margini? Un antico proverbio africano dice "se vuoi conoscere la fine, guarda l'inizio". Siamo così tornate indietro nel tempo, alla ricerca di vicende e modelli significativi per le ragazze di oggi, approfondendo anche gli aspetti umani delle loro avventure. In tal senso i precedenti lavori che hanno trattato le vite delle nostre eroine valutandone ruolo e valore professionale hanno rappresentato un essenziale punto di riferimento per il presente lavoro.

In particolare, a duecento anni dalla nascita di Ada Byron, Hénin ha dedicato alla prima programmatrice la gran parte del suo articolo [6], ricostruendone con cura la vita, il sodalizio e collaborazione con Babbage e il contributo alla descrizione della macchina analitica. Nell'ultima parte dell'articolo ha presentato invece una rapida carrellata delle eredi di Ada, di coloro cioè che hanno avuto un ruolo nella nascita e nello sviluppo dell'informatica (comprese le ragazze dell'ENIAC, ma non Jean Sammet).

La nostra si propone più come una galleria di ritratti. Nel caso di Ada, ad esempio, abbiamo voluto mettere in evidenza la singolarità del suo personaggio, tale che potrebbe essere uscito da un romanzo della quasi coeva Austen: una giovane donna che si appassiona al progetto dell'amico Babbage e riesce ad arrivare a concetti che precorrono i tempi in cui vive, grazie alla sensibilità e all'immaginazione che ha sempre coltivato.

Delle ragazze dell'ENIAC e di Jean Sammet abbiamo invece voluto tratteggiare i meriti professionali, raccontando il contesto in cui operavano e ricordando come la loro storia sia rimasta tra le pieghe della storia ufficiale.

Da qui noi ci vorremmo muovere, trovando modelli e modi per incoraggiare le studentesse a scoprire cosa è l'informatica prima di pensare che non sia adatta a loro e cercando di capire quali incentivi nel mondo del lavoro e della ricerca possano contenere la dispersione di un potenziale molto alto di ragazze che partono magari meglio dei ragazzi ma che poi si incagliano una volta giovani donne alla vigilia di scelte importanti quali avere una famiglia.

Insomma le autrici di questo articolo pensano non solo che l'informatica abbia molto da offrire alle donne, ma che le donne stesse abbiano molto da dire e da regalare a questa scienza. Un campo che nessuno può abbandonare: le ricadute che la tecnologia ad essa connessa già ha e che sempre più acquisirà nei prossimi anni non è neutra e condizionerà grandemente la nostra vita. Gli algoritmi possono infatti incorporare più o meno inconsapevolmente discriminazioni rispetto al genere e alle minoranze [4,33]. Pensiamo a quelli di intelligenza artificiale applicati allo studio di malattie che elaborano dati in prevalenza di malati maschi. O a quelli che sulle piattaforme social propongono lavori ben retribuiti più a uomini che a donne. L'ideazione e progettazione degli algoritmi è dunque un processo dal quale le donne non possono astrarsi e non debbono restare escluse.

Bibliografia

Tutti i siti contenenti i riferimenti, sono stati visitati nel settembre 2017.

1. Landel, L. (Aprile 1967) "The Computer Girls", *Cosmopolitan*
2. O'Connor, J. "Women pioneered computer programming. Then men took their industry over. How "computer girls" gave way to tech bros".
3. Piccolo, S. Puliti, F. (10 dicembre 2015) "L'informatica non è roba da ragazze? Negli anni 70-80 lo era, eccome". *La Repubblica*. http://www.corriere.it/scuola/universita/15_dicembre_10/informatica-ragazze-pisa-ada-lovelace-afd6444c-9f62-11e5-a5b0-fde61a79d58b.shtml
4. Rujtano, R. (31 luglio 2017) "Io Poetessa del codice, lotto contro le discriminazioni degli algoritmi". *La Repubblica*. <http://www.repubblica.it/tecnologia/2017/07/31/news/lo-poetessa-del-codice-lotto-contro-le-discriminazioni-degli-algoritmi-1720439685>.
5. Longo, G.O., Bonfanti C. (Giugno 2008) "Ada Byron e la macchina analitica". *Mondo Digitale* (2)
6. Hénin, S. (Aprile 2015) "Augusta Ada Lovelace (1815 - 1852)". *Mondo Digitale* (57)
7. Toole, B. A. (1992) *Ada, the enchantress of numbers*. Strawberry Press Mill Valley, California.

8. *Atti della seconda riunione degli scienziati italiani tenuta in Torino nel settembre del 1840*, (1841) Tipografia Cassone e Marzorati, Torino. Digitalizzato dall'Università di Urbana-Champaign (Illinois) e scaricabile alla pagina <https://archive.org/details/attidellaseconda00riun>
9. Menabrea, L. F. (1842). "Notions sur la machine analytique de M. Charles Babbage", *Bibliothèque Universelle de Genève*, Nouvelle Série, vol. 41, pp. 352-376. <https://www.bibnum.education.fr/calcul-informatique/calcul/notions-sur-la-machine-analytique-de-m-charles-babbage>
10. Menabrea, L. F. (1843) "Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage (With notes upon the Memoir by the Translator), *Scientific Memoirs, Selected from the Transactions of Foreign Academies of Science and Learned Societies*, vol. 3, pp. 666-731. <https://www.fourmilab.ch/babbage/sketch.html>
11. Moore, D. L. (1977). *Ada Countess of Lovelace. Byron's Legitimate Daughter*, John Murray.
12. Stein, D. (1987). *Ada. A Life and a Legacy*, MIT Press.
13. Baum, J. (1986). *The Calculating Passion of Ada Byron*, Archon Books.
14. Barkley Fritz, (1994) W. "ENIAC - A Problem Solver". *IEEE Annals of History of Computing*, Vol.16, N.1.
15. Barkley Fritz, (1996) W. "The Women of ENIAC". *IEEE Annals of History of Computing*, Vol.18, N.3.
16. Benvenuti, S., Pagli, L. (2016) "Refrigerators Ladies". *Bollettino dell'UMI*.
17. Bergin T. J. ed., (Novembre 1996) "50 years of Army Computing. From ENIAC to MSRC", *Atti del convegno omonimo tenuta all'Aberdeen Proving Ground*.
18. [ENIAC Programmers Project - Team. www.ENIACprogrammers.org/team.shtml](http://www.ENIACprogrammers.org/team.shtml)
19. Van der Spiegel, J., Tau, J. F., Ala'ilima, T. F., Ang, L.P. (2000) "The ENIAC: History, Operation and Reconstruction in VLSI". In: R. Rojas, U. Hashagen (eds.), *The First Computer- History and Architecture*, MIT Press, Cambridge.
20. Brainerd J. G., Shapless, T. K. (1999) "The ENIAC". *Proceedings of the IEEE*, Vol.87, N. 6.
21. Zoppke, T., Rojas, P. (2006) "The Virtual Life of ENIAC. Simulating the Operation of the First Electronic Computer". *IEEE Annals of History of Computing*, Vol.28, N.2.
22. Reed, H. L. Jr, (1952) "Firing table computations on the ENIAC", *Proceedings of the 1952 ACM national meeting*.
23. Top Secret Rosies. "The female "Computers" of WW II". (2010) Documentario diretto da LeAnn Erickson, PBS Studio.
24. Jean Bartik. <https://en.wikipedia.org>.
25. Light, J. S. (Luglio 1999) "When Computers Were Women". *Technology and Culture: 40*, 3, Research Library Core.

26. "The computers. The Remarkable Story of the ENIAC Programmers." *ENIAC Programmers Project*, documentario, 2014.
27. Jacobs, G. (12 aprile 2017) "When Jean E. Sammet Learned to Code, Steve Jobs Was Still in Diapers". *Glamour*.
28. "Ten Minutes With Jean Sammet '48. Alumnae Quarterly", *Alumnae Association Mount Holyoke College*, November 2013.
29. "Computer pioneer Jean Sammet '48 has died". <https://www.mtholyoke.edu/media/computer-pioneer-jean-sammet-48-has-died>
30. Bergin, T. J. (2009) "Jean Sammet: Programming Language Contributor and Historian, and ACM President". *IEEE Annals of the History of Computing* 14:3.
31. Sammet, J. (1969) *Programming languages: History and Fundamentals*, Prentice-Hall.
32. Lohr, S. (4 giugno 2017) "Jean Sammet, Co-Designer of a Pioneering Computer Language, Dies at 89". *New York Times*.
33. O'Neil, C. (2016) *Weapons of math destruction: how big data increases inequality and threatens democracy*. A New York Times notable book.

Biografie

Chiara Bodei è professoressa di informatica presso l'Università di Pisa. I suoi interessi di ricerca, partendo dalla semantica della concorrenza sono legati alla sicurezza, in particolare all'analisi statica di proprietà di sistemi distribuiti e reti. Si interessa anche ai servizi web e recentemente all'Internet of Things. È da poco coinvolta nella gestione del Museo degli strumenti per il Calcolo di Pisa.

Email: chiara.bodei@unipi.it

Linda Pagli è professoressa di informatica presso l'Università di Pisa dove insegna corsi di algoritmi. Ha insegnato e collaborato con gruppi di ricerca di diversi paesi del Nord e del Sud del mondo. I suoi interessi di ricerca attuali si concentrano sulle basi del calcolo e sul progetto e l'analisi di algoritmi. Recentemente si è dedicata anche alla divulgazione dell'informatica. Tra i suoi libri segnaliamo "Problemi, algoritmi e coding. Le magie dell'informatica" (Zanichelli 2017) scritto in collaborazione con P. Crescenzi.

Email: linda.pagli@unipi.it



Abbiamo davvero bisogno del pensiero computazionale?

Michael Lodi, Simone Martini, Enrico Nardelli

Sommario

Esaminiamo in che misura sia necessaria l'espressione "pensiero computazionale" ed argomentiamo che può essere controproducente usarla in modo eccessivo insistendo a cercarne una definizione operativamente precisa. Questo termine dovrebbe servire, in modo strumentale, per spiegare sinteticamente perché l'informatica è una disciplina scientifica nuova e distinta dalle altre e perché dovrebbe essere insegnata a scuola a tutti i livelli.

Abstract

We discuss if and to what extent we need the expression "computational thinking". We argue that looking for a precise, operational definition could be misleading, and that this expression should not be used everywhere instead of "informatics". "Computational thinking", instead, is an instrumental expression which may help in suggesting that informatics is a new and distinct scientific discipline, and in motivating why it should be taught in the schools of any level.

Keywords: informatics, computational thinking, school, mathematics, teaching

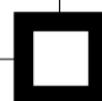
0

1

0

1

0



Introduzione

Vogliamo analizzare in che misura sia necessaria l'espressione "pensiero computazionale" (CT, nel seguito, dall'espressione inglese "computational thinking"), resa popolare da un importante articolo di Jeannette Wing [1], seguito da una imponente discussione con centinaia di articoli successivi. Non esiste ancora una definizione operativa universalmente accettata di tale espressione: discuteremo nel seguito se ne abbiamo davvero bisogno e per quale scopo.

Chiariamo subito che, da informatici, siamo profondamente convinti che sia necessario il **concetto** di pensiero computazionale, inteso come "essere in grado di pensare come un informatico ed essere in grado di applicare questa competenza ad ogni settore dell'attività umana". Anticipando le conclusioni, tuttavia, probabilmente il termine è più necessario come strumento, come un modo abbreviato di riferirsi ad un concetto ben strutturato, mentre potrebbe essere controproducente insistere a cercarne una definizione operativamente precisa. L'espressione è utile per indicare che l'informatica è una disciplina scientifica nuova e distinta dalle altre. E per questo scopo cercheremo di dare una definizione un po' più generale di quella della Wing.

1. Perché parliamo di pensiero computazionale

Iniziamo dal principio. Wing introduce in [1] il termine CT per sostenere l'importanza di insegnare ad ogni studente «*come pensa un informatico*». In questo lavoro non fornisce una definizione, che viene poi esplicitata in lavori successivi, in collaborazione con Cuny e Snyder¹: «*CT è l'insieme dei processi mentali usati per formulare i problemi e le loro soluzioni in modo tale che la descrizione delle soluzioni sia effettivamente eseguibile da un agente che elabora informazioni*». Nel far questo, segue la strada che altri avevano tracciato prima di lei. Donald Knuth, ben conosciuto sia dai matematici che dagli informatici, nel 1974 scrive [4] «*A dire il vero, una persona non comprende davvero un argomento se non quando riesce ad insegnarlo ad un computer*».

George Forsythe, già presidente dell'ACM² ed uno dei padri fondatori dei corsi di studio universitari in informatica, nel 1968 aveva scritto [5]: «*L'apprendimento più valido nell'istruzione tecnica o scientifica è rappresentato da quegli strumenti mentali di utilità generale che rimangono validi per tutta la vita. Considero il linguaggio naturale e la matematica come i più importanti fra questi strumenti, e l'informatica come il terzo*».

Tuttavia, la popolarità acquisita dall'espressione "pensiero computazionale" con l'articolo di Wing rischia di rovinare il suo scopo originario. Sempre più persone

¹ Questa formulazione, da [2], si riferisce ad un "articolo in preparazione" mai pubblicato: "Demystifying Computational Thinking for Non-Computer Scientists" (2010). Inoltre, la Wing evidenzia come essa sia originata da una discussione con Alfred Aho, che fornisce una definizione molto simile (sebbene più incentrata sul "pensiero algoritmico") in [3].

² La *Association for Computing Machinery* (ACM) è la più grande associazione di informatici, sia scienziati che professionisti, esistente al mondo.

considerano il CT come un nuovo soggetto di insegnamento, concettualmente diverso o distinto dall'informatica. Nella ricerca di individuare quella definizione operativa che la Wing non ha fornito nel suo articolo, viene evidenziato questo o quell'altro aspetto (l'astrazione, la ricorsività, la risoluzione dei problemi, ...), e così facendo se ne oscura il significato più importante: uno scenario discusso in modo chiaro e rivelatore da Armoni [6] e Denning [7].

La situazione si ingarbuglia ancor di più nel settore dell'istruzione scolastica. Parlare di CT nell'ambito della scuola è un atteggiamento rischioso: i filosofi, giustamente, si chiedono cosa intendiamo dire parlando di "insegnare il pensiero"; i matematici osservano che molti aspetti del CT (algoritmo, astrazione, ricorsività, problem solving, ...) sono anche elementi tipici della matematica (che, però, non viene chiamata per questo "pensiero matematico"); i pedagogisti chiedono su quali basi siamo sicuri che sia davvero efficace l'insegnamento del CT; gli insegnanti vogliono sapere quali sono i metodi e gli strumenti per insegnare questa nuova disciplina e come possono imparare ad insegnarla; infine, i genitori sono da un lato contenti perché finalmente la scuola si allinea ad una società sempre più digitale, ma dall'altro sono preoccupati di ciò che accadrà ai loro figli nel futuro se imparano a programmare coi linguaggi di oggi, che saranno obsoleti tra qualche anno. Per non parlare, poi, di quelli che vorrebbero usare l'espressione CT senza alcun riferimento all'articolo originale della Wing o a concetti fondamentali dell'informatica, e che si sentono così liberi di attribuirgli, di volta in volta, i significati più diversi.

Riteniamo che l'articolo originale della Wing avesse solo lo scopo di "indicare la direzione": occorre insegnare i concetti fondamentali dell'informatica nella scuola, possibilmente fin dalle prime classi, perché quei concetti sono oggi importanti quanto quelli della matematica, della fisica, della letteratura, della storia delle idee. Siamo anche convinti che in prima approssimazione il significato dell'espressione «*come pensa un informatico*» possa essere sufficientemente chiarito dalla spiegazione auto-referenziale "Il CT è l'insieme delle competenze mentali e cognitive ottenute mediante lo studio e la pratica dell'informatica": la "conoscenza tacita" definita da Polanyi [8]. Forniremo tuttavia nella sezione 3 alcuni utili approfondimenti su tale espressione, ricordando comunque che già Knuth nel 1974 aveva avvisato, nel discutere il termine "informatica", che «*i concetti sottostanti sono più importanti del nome*» [4]. Questo è ancor più vero, crediamo, per il CT. Ciò che importa davvero è che l'informatica in quanto disciplina scientifica sia insegnata da subito nella scuola. E in effetti questa è la strada seguita da alcuni grandi Paesi, di cui presenteremo i tre casi più rilevanti.

In Inghilterra, il programma nazionale di studio relativo all'informatica³, pubblicato dal Ministero dell'Istruzione nel Settembre 2013 ed obbligatorio per tutte le scuole a partire dall'a.s. 2014-15, utilizza il CT nel senso sopra presentato di "ciò che si ottiene dallo studio e dalla pratica dell'informatica". Infatti, usa il termine "pensiero computazionale" solo nella frase iniziale

³ <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study>

«Un'istruzione di elevata qualità nell'informatica fornisce agli allievi la capacità di usare il pensiero computazionale e la creatività per comprendere e cambiare il mondo» e poi in un paio di altre occasioni, negli obiettivi per il Livello 3 (“Key Stage 3”) «comprendere diversi algoritmi fondamentali che rispecchiano il pensiero computazionale» e per il livello 4 «sviluppare e applicare le abilità analitiche, di risoluzione dei problemi, di progettazione e di pensiero computazionale». Il curriculum non definisce mai il termine. Osserviamo subito, nella prima citazione, il legame tra CT e creatività, un tema che riprenderemo più avanti in modo esteso.

Negli Stati Uniti, l'atto legislativo “Every Student Succeeds Act” (ESSA), approvato dal Congresso nel 2015 con supporto bipartisan, ha introdotto l'informatica tra le “materie per un'istruzione a tutto tondo” (*well rounded educational subject*), che devono essere insegnate nella scuola «con lo scopo di fornire a tutti gli studenti l'accesso ad un curriculum ed un'esperienza formativa migliori» e non fa cenno al CT. Nel gennaio 2016, l'allora Presidente Obama ha lanciato l'iniziativa “Computer Science For All”⁴ il cui obiettivo è «di mettere tutti gli studenti americani, dall'asilo al liceo, in condizione di imparare l'informatica ed essere così attrezzati con le abilità di pensiero computazionale di cui hanno bisogno ...». Di nuovo, il CT è ciò che si ottiene una volta che si è appresa l'informatica.

In Francia, la “Académie des Sciences”, la più importante istituzione rappresentante gli scienziati di quel paese, ha pubblicato nel Maggio 2013 il rapporto “L'insegnamento dell'informatica in Francia. È urgente non aspettare oltre”⁵, che raccomanda – a proposito dell'insegnamento dell'informatica – «l'insegnamento dovrebbe iniziare nella primaria, attraverso l'esposizione alle nozioni di base dell'informatica e degli algoritmi, ... <e> dovrebbe essere ulteriormente sviluppato nella scuola media e nella superiore». Analizzando il loro uso di CT (“*pensée informatique*”) è chiaro che anche nella loro visione il termine denota la specifica modalità di pensiero sviluppata dall'apprendimento dell'informatica. Solo un paio di esempi: «l'informatica ... conduce ad un differente modo di pensare, chiamato CT» e «imparare la programmazione è un modo di scoprire i rudimenti del CT».

Da questi tre autorevoli esempi risulta chiaramente che il CT non è una nuova materia d'insegnamento: ciò che deve essere insegnato nelle scuole è l'informatica e il CT è, al più, il sedimento concettuale di quell'insegnamento, quello che resta anche quando gli aspetti tecnici sono stati dimenticati.

D'altro canto, molti lavori che fanno riferimento al CT nel titolo o nel sommario (la sola Digital Library dell'ACM ne riporta più di 400) sembrano sostenere che il CT è qualcosa di nuovo e di diverso. Alcuni addirittura sostengono che il “coding” (che considerano diverso dalla “programmazione”) è tutto quello che serve per impararlo! Il recente [9] discute i rischi e i limiti di questo approccio.

⁴ <http://www.nsf.gov/csforall>

⁵ http://www.academie-sciences.fr/pdf/rapport/rads_0513.pdf

Siamo convinti che questa separazione tra CT e informatica sia sbagliata e fuorviante e che sul lungo periodo rischi di creare più danni che benefici. In fin dei conti, nelle scuole non viene insegnato il “pensiero linguistico” o il “pensiero matematico” e non ci sono i “programmi scolastici” o i “metodi di valutazione” per queste materie. Semplicemente, vengono insegnati “Italiano” e “Matematica”, e ne vengono valutate le competenze. In seguito, le competenze linguistiche (o matematiche) acquisite con lo studio dell’Italiano (o della Matematica), oltre ad essere usate in quanto tali, sedimentano in un apparato concettuale di categorie fondamentali per l’interpretazione della realtà, oltre a trovare ulteriore utilizzo in altre materie. Tra il CT e l’informatica vi è la stessa relazione. Pertanto dovremmo discutere cosa insegnare e come valutare le competenze di Informatica nella scuola, e non discutere come insegnare e valutare le competenze di CT.

In sintesi, parlare di CT ha lo scopo di aiutare a comprendere che **non stiamo parlando di sistemi e strumenti, ma di principi e metodi**: ci stiamo focalizzando sui concetti scientifici fondamentali. Diversamente da quanto accade con l’italiano o la matematica, siamo costretti ad esplicitare questa distinzione, dal momento che l’informatica ha anche un’imponente componente tecnologica che la fa, da molti, identificare con i computer e il loro uso strumentale.

2. Perché l’informatica non è la matematica

È ovviamente lecito, a questo punto, chiedere quali siano questi concetti scientifici fondamentali e se è possibile fornire qualche esempio. Si tratta di un passaggio critico per spiegare perché l’informatica è una nuova disciplina scientifica e qual è il suo valore educativo.

Spiegare in che senso “come pensa un informatico” è differente da “come pensa un matematico” è un punto assai importante. Knuth aveva fornito un esempio brillante (anche se non di immediata comprensione) già nel suo articolo del 1974. Riguarda il problema di trovare il “massimo comun divisore destro” di due matrici di $n \times n$ numeri interi. La risposta di un matematico è: «*Sia R l’anello delle matrici di interi; in questo anello la somma dei due ideali principali sinistri è principale, quindi sia D tale che $RA + RB = RD$. Allora D è il massimo comun divisore destro di A e B* » [4]. Questa risposta è chiaramente insoddisfacente per l’informatico, per cui **una soluzione è ciò che viene restituito da un processo che calcola la risposta e non da un’equazione che definisce la risposta**. Abbiamo intenzionalmente usato il termine “processo” al posto del più usuale “algoritmo” per sottolineare il fatto che abbiamo un “processo” soltanto quando l’algoritmo è stato tradotto in un opportuno “linguaggio” e il codice ottenuto è in esecuzione da parte di un “automa”. In tal modo, tre dei pilastri fondamentali dell’informatica (algoritmo, linguaggio, automa) sono tutti coinvolti nel caratterizzare la differenza tra il punto di vista del matematico e quello dell’informatico.

Ogni scienza ha il suo particolare punto di vista sul mondo, il suo “paradigma concettuale” in base al quale descrive e spiega i fenomeni. Così - giusto per fare alcuni esempi - sono concetti essenziali per un matematico la quantità e le

loro relazioni, per un fisico le forze e le masse, per un biologo l'organismo, il metabolismo e la riproduzione, per un chimico le molecole e le reazioni, e così via. Ognuno di questi paradigmi può essere usato per descrivere la stessa realtà, ed a seconda dei casi e dei contesti uno di essi può essere quello più utile per la comprensione e la spiegazione oppure può esserlo la loro combinazione. Concetti quali quello di algoritmo, linguaggio, automa fanno parte del paradigma concettuale dell'informatico e possono essere impiegati con successo per fornire descrizioni complementari a quelle fornite da altre scienze. Ne è un esempio lo studio dei sistemi viventi (p.es. una cellula), nella quale le tradizionali descrizioni del biologo e del chimico sono state affiancate prima da quelle dei matematici e dei fisici e poi da quelle degli informatici, ottenendo, con l'insieme delle rappresentazioni, un quadro notevolmente più completo.

Un esempio paradigmatico del modo di descrivere il mondo da parte dell'informatica (cioè del CT in azione) è esemplificato da una sequenza⁶ tratta dal film "Apollo 13". Gli astronauti si trovano in una situazione critica a bordo del modulo lunare, e devono essere guidati da terra per costruire un filtro per il sistema di purificazione dell'aria. In questo caso, gli esperti del centro di controllo devono ragionare come informatici per far sì che un esecutore sia in grado di comprendere ed eseguire le istruzioni che gli vengono fornite in modo che possa essere raggiunto l'obiettivo desiderato. Qui l'esecutore non è un computer (elettronico): gli astronauti devono "fare gli *automi*" che eseguono un *algoritmo* (quello per la costruzione del filtro - che loro non conoscono perché non sono ingegneri degli impianti di climatizzazione) che da terra viene loro inviato scritto in un *linguaggio* che devono essere in grado di comprendere e le cui azioni devono essere in grado di *attuare*.

Come argomentato da Armoni in [6], i problemi col termine CT nascono quando lo si considera non come un'abbreviazione per indicare "il nucleo scientifico dell'informatica", ma come la definizione di una nuova disciplina. In quest'ottica esemplificativa, l'uso della definizione di Cuny, Snyder e Wing precedentemente riportata può essere utile a patto di sottolineare il ruolo dell'**agente elaboratore di informazioni** (o, per usare un termine più semplice, dell'**esecutore**). Senza l'esecutore e la sua capacità di operare **in modo effettivo**⁷, non c'è informatica, ma solo matematica, che in effetti ha risolto problemi da millenni, scoprendo ed applicando in questo lungo percorso l'astrazione, la decomposizione, la ricorsione, e così via... Dello stesso avviso è Alfred Aho, che - in [3], subito prima di enunciare la definizione che ispirerà quella di Cuny, Snyder e Wing - sottolinea come si debba usare il termine "computazione" in congiunzione con l'indicazione di un ben definito modello di calcolo: essendo la computazione un processo definito in termini di un modello sottostante, esso non può essere ignorato.

⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=vNaNxwATJqY>

⁷ Ricordiamo che una procedura è **effettiva** se è costituita da una serie di azioni elementari, eseguibili in modo deterministico ed in tempo finito dall'esecutore.

Inoltre, è proprio l'aver messo l'esecutore al centro del proprio approccio a far sì che l'informatica apporti, rispetto alla matematica, un mutamento radicale di punto di vista. Il cambiamento di paradigma concettuale è costituito dal passaggio **dal risolvere i problemi al far risolvere i problemi**. Questa transizione costituisce la «differenza che fa la differenza» [10] e colloca l'informatica come disciplina a sé stante tra le altre scienze.

Questo diverso "sguardo" che l'informatica ha sul mondo è stato inoltre fecondo di conseguenze pratiche.

Ad esempio, la formalizzazione dell'esecutore e delle risorse (tempo, spazio) a sua disposizione per l'effettuazione della computazione ha permesso di caratterizzare in modo esatto la "complessità" della risoluzione dei problemi e di determinarne la gerarchia, dai più semplici ai più difficili. Sulla base di queste conquiste scientifiche, le tecnologie crittografiche permettono di garantire la sicurezza delle transazioni della nostra carta di credito quando eseguiamo acquisti on line.

E ancora, la formalizzazione di come l'esecutore rappresenta i dati a sua disposizione, le relazioni tra essi ed i relativi processi di elaborazione, ha consentito la definizione precisa dei processi con cui l'esecutore può "apprendere" e quindi, ad esempio, fornirci quello specifico annuncio promozionale calibrato sui nostri interessi.

Conoscere i concetti fondamentali della scienza alla base di queste meraviglie della tecnologia digitale ci consente - ancora procedendo per esempi - di discutere con maggiore consapevolezza di vantaggi e criticità del voto elettronico, di capire meglio gli effetti di diffusione di notizie (magari false) sulle reti sociali, e via dicendo. Inoltre, considerando che nell'attuale società digitale la presenza di dispositivi informatici è ubiqua, è necessario per qualunque cittadino che voglia essere a suo agio nella società stessa comprendere i principi scientifici alla base del loro funzionamento.

In questo l'informatica ha un ruolo non solo descrittivo ed ermeneutico, ma consente di agire sulla realtà. Che si tratti dei corrieri che usano l'informatica per meglio gestire la logistica delle consegne in costante crescita, oppure degli storici che utilizzano tecniche di elaborazione del linguaggio naturale per fare nuove ipotesi su simboli ancora non decifrati, l'informatica è uno strumento necessario per trasformare il mondo secondo i propri scopi, in ogni attività lavorativa e ogni disciplina scientifica.

Un ulteriore elemento caratteristico del particolare approccio che ha l'informatica nel descrivere il mondo è fornito dall'uso dell'astrazione. Si tratta di uno strumento concettuale che tutte le discipline scientifiche usano, ma che nell'informatica assume una natura del tutto particolare, in primo luogo perché **le sue astrazioni sono eseguibili in modo meccanico** [11, 12]. Questo vuol dire che le astrazioni dell'informatica possono essere "animate" senza dover ogni volta costruire una nuova rappresentazione fisica dell'astrazione stessa. In secondo luogo, l'informatica, attraverso i suoi "linguaggi", fornisce un supporto linguistico all'astrazione: opportuni costrutti linguistici permettono di costruire e definire astrazioni in modo sistematico, e di spostarsi in modo uniforme tra i loro

vari livelli, arrivando senza soluzione di continuità fino all'esecuzione fisica delle astrazioni individuate. In questo l'informatica si distingue dalle altre discipline, che devono ogni volta costruire "ad hoc" un insieme di oggetti materiali che esprimono i fenomeni modellati. E questa particolarità - che è basata sulla formalizzazione del concetto di esecutore sotto forma della "Macchina Universale di Turing" - fa sì che l'informatica possa costituire un importante ausilio didattico per lo studio delle altre discipline.

3. "Pensare come un informatico"

È importante, a questo punto, andare più in dettaglio e cercare di elencare alcuni degli aspetti peculiari e caratteristici del "pensare come un informatico". Analizzando alcune tra le più importanti definizioni di pensiero computazionale proposte in letteratura (si veda [13] per un'analisi completa), emergono molti elementi in comune.

Tutti coloro che danno una definizione precisa, concordano sul fatto che il pensiero computazionale sia un "**processo mentale**" (o più in generale un "modo di pensare") per "**risolvere problemi**" (problem solving). Ma tutti specificano che non si tratta di una generica risoluzione di problemi: la formulazione del problema e della soluzione devono essere espresse in modo che un "**agente che elabora informazioni**" (essere umano o macchina) sia in grado di comprenderle ed eseguirle.

Gli autori elencano poi quelli che ritengono essere gli elementi costitutivi del pensiero computazionale. Questi elementi sono di tipologie molto diverse (da "abitudini di ragionamento" a "specifici concetti di programmazione" a "competenze trasversali") e sono raggruppati in diverse categorie, ma non c'è consenso sulla loro classificazione.

Proponiamo quattro categorie e, all'interno di ciascuna di esse, elenchiamo alcuni tra gli elementi comuni che riconosciamo nelle definizioni analizzate.

Processi mentali: strategie mentali utili per risolvere problemi

- *Pensiero algoritmico:* usare il pensiero algoritmico per progettare una sequenza ordinata di passi (istruzioni) per risolvere un problema, ottenere un risultato o portare a termine un compito
- *Pensiero logico:* usare la logica e il ragionamento per convincersi di qualcosa, stabilire e controllare fatti
- *Scomposizione di problemi:* dividere un problema complesso in semplici sottoproblemi, risolvibili in modo più semplice; modularizzare; usare il ragionamento compositivo
- *Astrazione:* liberarsi dei dettagli inutili per concentrarsi sulle informazioni / idee rilevanti
- *Riconoscimento di pattern:* individuare regolarità/schemi ricorrenti nei dati e nei problemi

- *Generalizzazione*: usare le regolarità riconosciute per fare previsioni o per risolvere problemi più generali

Metodi: approcci operativi utilizzati dagli informatici

- *Automazione*: automatizzare soluzioni; usare un computer o una macchina per eseguire compiti ripetitivi o noiosi
- *Raccolta, analisi e rappresentazione dei dati*: raccogliere informazioni e dati, interpretarli trovando schemi ricorrenti, rappresentarli in maniera appropriata; memorizzare, recuperare e aggiornare dati
- *Parallelizzazione*: eseguire compiti simultaneamente per raggiungere un obiettivo comune, pensare “in parallelo”
- *Simulazione*: rappresentare dati e processi (del mondo reale) tramite modelli; eseguire esperimenti su tali modelli
- *Valutazione*: analizzare le soluzioni implementate per giudicarne la bontà, in particolare per ciò che riguarda la loro effettività e la loro efficienza in termini di tempo impiegato o di spazio occupato
- *Programmazione*: usare alcuni concetti di base della programmazione (cicli, eventi, istruzioni condizionali, operatori logici...)

Pratiche: usate tipicamente nell'implementazione di soluzioni informatiche

- *Sperimentare, iterare, fare “tinkering”*: nelle metodologie di sviluppo software incrementali e iterative, un progetto viene sviluppato attraverso ripetizioni di un ciclo “progetta-costruisci-verifica”, costruendo in modo incrementale il risultato finale; fare “tinkering” significa costruire qualcosa usando un processo per prove ed errori, imparare dal gioco, dall'esplorazione e dalla sperimentazione
- *Testare e correggere gli errori (debug)*: verificare che le soluzioni funzionino provandole concretamente; trovare e risolvere i problemi (i “bug”) in una soluzione o in un programma
- *Riuso e remix*: costruire la propria soluzione basandosi su / utilizzando anche codice, progetti o idee già esistenti

Competenze trasversali: modi di vedere e operare nel mondo; utili competenze per la vita favorite dal “pensare come un informatico”

- *Creare*: progettare e costruire artefatti, usare la computazione per essere creativi ed esprimere se stessi
- *Comunicare e collaborare*: connettersi con gli altri e lavorare insieme con un obiettivo comune per creare qualcosa e per ottenere una soluzione migliore
- *Riflettere, imparare, fare meta-cognizione*: usare l'informatica per riflettere e comprendere gli aspetti computazionali del mondo
- *Tollerare l'ambiguità*: avere a che fare con problemi reali, aperti e non totalmente specificati a priori

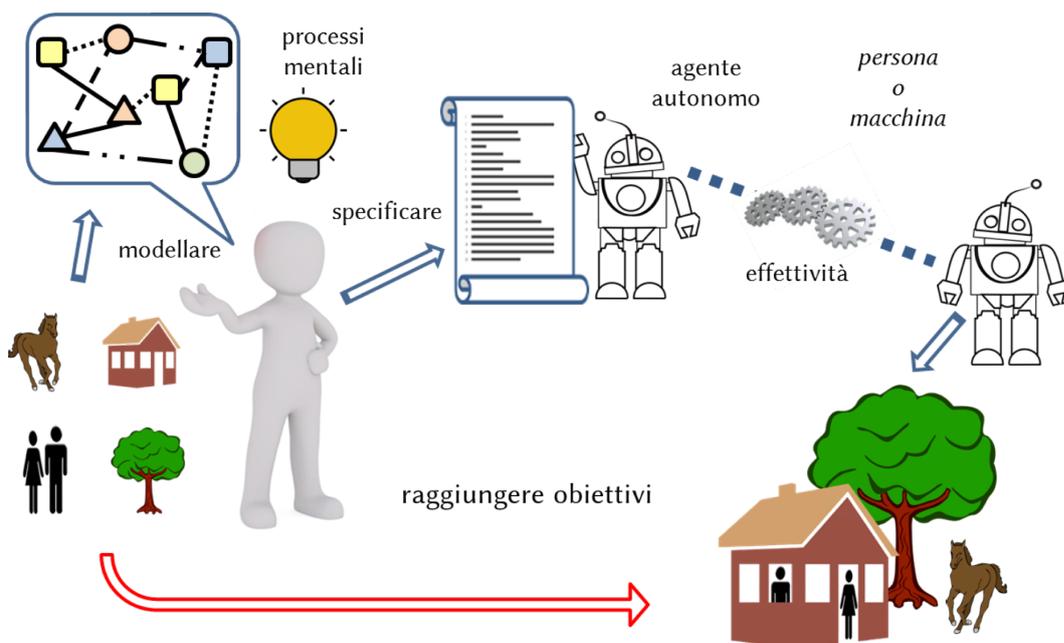
- *Perseverare quando si ha a che fare con problemi difficili: essere a proprio agio nel lavorare con problemi difficili/complessi, essere determinati, resilienti e tenaci*

Sempre nell'ottica di una spiegazione della natura dell'informatica, va osservato che la formulazione originale della Wing del termine "pensiero computazionale" è un po' restrittiva. Lei stessa aveva infatti chiarito in [2]: «*La mia interpretazione dei termini "problema" e "soluzione" è vasta. Non mi riferisco solo a problemi ben definiti da un punto di vista matematico e le cui soluzioni sono formulabili in modo completo, p.es., mediante una prova, un algoritmo, o un programma, ma anche a problemi del mondo reale le cui soluzioni possono essere fornite sotto forma di un sistema software grande e complesso*».

Ma anche in questa spiegazione viene usato il termine "problema", che intrinsecamente evoca il significato di "qualcosa che deve essere risolto".

Per superare questa difficoltà, rimanendo in linea con l'obiettivo esplicativo, si può fornire una definizione più generale: **"Il pensiero computazionale è l'insieme dei processi mentali usati per modellare una situazione e specificare i modi mediante i quali un agente elaboratore di informazioni può operare in modo effettivo all'interno della situazione stessa per raggiungere uno o più obiettivi forniti dall'esterno"** [14].

Questa formulazione contiene due differenze importanti. La prima è far riferimento ad una situazione (un contesto) in cui l'esecutore opera, invece che ad un problema che l'agente deve risolvere. La seconda è chiarire che l'esecutore non si assegna autonomamente gli obiettivi da raggiungere, ma li ottiene dall'esterno. In tal modo la definizione è anche più vicina alle recenti caratterizzazioni del concetto di computazione come processo illimitato (p.es., [15]).



4. Informatica a Scuola

Ricapitolando, le ultime considerazioni hanno messo in luce due aspetti fondamentali:

- l'informatica ha una sua dignità come disciplina scientifica di base, con il suo insieme di concetti e metodi stabili ed indipendenti;
- l'informatica ha un importante valore come disciplina trasversale, in grado di fornire un approccio che contribuisce ad una migliore comprensione delle altre discipline [16].

Questi due aspetti hanno un ruolo fondamentale anche nella discussione sull'introduzione dell'Informatica a scuola.

Per quel che riguarda il primo punto, già nel primo articolo di Jeannette Wing [1], e poi in vari lavori successivi, il pensiero computazionale è stato indicato come "quarta abilità di base" da insegnare oltre alle classiche "leggere, scrivere e far di conto"⁸. Tale convinzione emerge anche in lavori meno recenti: per esempio, nelle parole di Forsythe citate in apertura.

Le "Indicazioni nazionali per il curricolo" [17] sottolineano che il compito del primo ciclo d'istruzione è quello di promuovere "l'alfabetizzazione culturale e sociale di base" per acquisire linguaggi e codici della nostra cultura (allargata alle altre culture conviventi e all'uso consapevole dei nuovi media). Viene specificato che tale alfabetizzazione *include* l'alfabetizzazione strumentale ("leggere, scrivere e far di conto"), e la potenzia tramite i linguaggi e i saperi delle discipline. Questo dunque inquadra le "tre abilità di base" - il cui apprendimento era nei secoli scorsi il traguardo dell'alfabetizzazione - come *strumenti* per un più alto compito: imparare a comprendere il contesto sociale in cui lo studente si trova a vivere. Strumenti che, nel complesso mondo di oggi, hanno bisogno dei linguaggi e dei saperi specifici di diverse discipline per poter fornire una formazione di base adeguata. L'informatica è, a nostro avviso, una di tali discipline.

Riguardo al secondo punto, notiamo che la definizione da noi proposta si configura come una generalizzazione di quella di Cuny, Snyder e Wing, e racchiude scenari di estremo interesse per la scuola e l'istruzione: la simulazione dei fenomeni. In quest'ambito si costruiscono e manipolano rappresentazioni visibili di leggi fisiche e/o di fenomeni sociali/naturali più che risolvere problemi in sé e per sé. In altre parole, si modella una situazione e si esplorano le sue possibili evoluzioni allo scopo di acquisirne una migliore comprensione.

Infine, il pensiero computazionale viene spesso legato a competenze trasversali (es. problem solving "generale", ragionamento logico [13]) o alle "competenze del 21° secolo"⁹ o alle "competenze chiave e di cittadinanza" quali collaborazione, comunicazione, pensiero critico, creatività, perseveranza e

⁸ In inglese se ne parla come "the fourth R", dal momento che le tre abilità di base sono "Reading, wRiting, aRithmetic".

⁹ http://www3.weforum.org/docs/WEFUSA_NewVisionforEducation_Report2015.pdf

resilienza, eccetera: alcune di queste competenze sono infatti citate nelle definizioni di pensiero computazionale.

Sebbene riteniamo che “pensare come un informatico” possa favorire lo sviluppo di queste competenze (pensiero computazionale → competenze trasversali), osserviamo che tali competenze possono essere sviluppate anche mediante altri approcci. Notiamo però la tendenza di alcuni insegnanti (comprensibile, visto che sono familiari con esse) a utilizzare l’implicazione nel senso opposto (competenze trasversali → pensiero computazionale), sostenendo di insegnare il pensiero computazionale quando stanno insegnando, per esempio, a perseverare o a essere creativi. Si tratta chiaramente di una fallacia di ragionamento, che porta a snaturare l’indissolubile legame tra il pensiero computazionale e gli aspetti distintivi e peculiari della disciplina che lo genera: l’Informatica.

Un aspetto rilevante nel dibattito di questi anni riguarda proprio il rapporto tra pensiero computazionale e una di queste competenze trasversali: la creatività.

Sir Ken Robinson, nella prefazione a [18], ci ricorda che la tecnologia ha da sempre aiutato l’uomo ad espandere il proprio corpo e la propria mente. La specie umana si distingue proprio per il suo potere di astrazione e immaginazione. Per far lavorare questa immaginazione, ed essere quindi creativi, sono necessari materiali e strumenti, e il risultato dipende molto anche da quali di questi sono disponibili. Quando si parla di creatività - sottolinea Mitch Resnick [18] - spesso si pensa all’espressione artistica, oppure alla “Creatività con la C maiuscola” dei grandi inventori o personaggi le cui opere sono esposte nei musei.

Ma la creatività non è solo degli artisti, ma anche degli scienziati che fanno scoperte, dei medici che diagnosticano malattie o degli imprenditori che sviluppano nuovi prodotti o strategie di mercato. E, più in generale, entra in gioco quando si sviluppano idee che sono utili a noi stessi o agli altri nella vita di tutti i giorni: probabilmente non si tratta di scoperte innovative nel panorama mondiale, ma lo sono per noi. In altre parole, si tratta della “creatività con la c minuscola”, di cui tutti possono essere capaci, a patto che venga coltivata negli studenti fin da quando sono piccoli.

Poiché l’informatica rende possibile costruire rappresentazioni e soluzioni per le più diverse situazioni, anche quelle fisicamente irrealizzabili, limitati solo dalla nostra immaginazione, essa costituisce una potentissima palestra per esercitare la creatività, e dunque ha un alto valore educativo. In un mondo in cui le informazioni sono facilmente reperibili, e i computer sono sempre più bravi a risolvere compiti noiosi e ripetitivi, diventa ancor più importante educare gli studenti a trovare soluzioni innovative, piuttosto che a esercitarsi nell’applicazione di procedure mnemoniche o standardizzate.

Concludiamo questa sezione con una riflessione sulle possibili concezioni errate che rischiano di generarsi in seguito all’introduzione dell’Informatica a scuola. Si tratta di opinioni “opposte” l’una con l’altra, ma di cui vediamo segnali nelle discussioni odierne.

La prima riguarda le idee sbagliate e stereotipate sull'informatica: per molti programmare e ragionare da informatici rimane appannaggio di poche persone che hanno quello che gli americani chiamano il "gene del geek"¹⁰ [19] o appartengono a specifiche categorie: individui con un unico interesse, asociali, competitivi, maschi [20]. Forse proprio a causa di queste idee alcuni (p.es. sui media) tendono a sottolineare che "l'obiettivo non è quello di insegnare informatica", come se questo fosse un obiettivo negativo o non meritevole di essere perseguito. Analoghe concezioni stereotipate sono presenti già da tempo per ciò che riguarda la matematica, e sono tra le cause di insuccesso degli studenti [21].

La seconda, all'opposto, riguarda l'idea che associa l'Informatica solo alle attività introduttive giocose e ludiche - svolte magari esclusivamente durante gli eventi quali "La settimana europea del codice" o "L'ora del codice". Tali eventi e attività, fondamentali per portare l'attenzione sull'importanza dell'apprendimento dell'Informatica, e per interessare e coinvolgere gli studenti, devono essere seguite però da un percorso sistematico e strutturato (adeguato all'età dei discenti) di introduzione ai concetti fondamentali della disciplina.

5. Conclusioni

Nell'ultimo decennio l'espressione "pensiero computazionale" è stata utilizzata per indicare il "nucleo scientifico dell'informatica", con lo scopo di sensibilizzare le persone sull'importanza che, nella moderna società digitale e dell'informazione, l'apprendimento di tali concetti riveste a tutti i livelli di istruzione.

Il grande risalto che ha avuto questo tema ha portato però a delle concezioni errate su cosa il "pensiero computazionale" realmente sia, prima fra tutte l'idea che tale espressione indichi una disciplina nuova e distinta dall'Informatica.

Invece di cercare di definire in modo preciso che cosa sia il pensiero computazionale - azione che può aver contribuito ad aumentare la confusione sul tema - siamo risaliti alle motivazioni storiche e culturali che hanno reso l'informatica una scienza nuova e indipendente dalla matematica e abbiamo messo in evidenza quali aspetti peculiari la caratterizzano e distinguono tutt'oggi. In particolare, abbiamo argomentato sull'importanza di riferirsi ad un esecutore. L'informatico non risolve problemi, ma li fa risolvere a una "macchina": scrive un algoritmo, e lo traduce in un linguaggio ad essa comprensibile, di modo che essa possa interpretare ed eseguire le istruzioni che le vengono fornite.

Dalla nostra discussione, risulta chiaro che l'Informatica ha una sua dignità sia come disciplina scientifica di base, da insegnare così come si fa con le altre scienze, sia come disciplina trasversale. Sia perché il suo potere di "automatizzare le astrazioni" permette di "dar vita" a modelli di fenomeni altrimenti impossibili da studiare in azione, sia perché le pratiche messe in atto dagli informatici possono essere un valido mezzo per sviluppare competenze

¹⁰ Termine usato nell'inglese colloquiale per indicare le persone particolarmente abili con le tecnologie digitali.

trasversali fondamentali nella società di oggi. Prima fra tutte, la creatività: indispensabile per utilizzare le tecnologie in maniera attiva e per emergere come esseri umani protagonisti in un mondo sempre più automatizzato.

Bibliografia

- [1] Wing, J. (2006). "Computational thinking", *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.
- [2] Wing, J. (2011). "Research Notebook: Computational Thinking – What and Why?", *The LINK. The Magazine of Carnegie Mellon University's School of Computer Science*. <https://www.cs.cmu.edu/link/research-notebook-computational-thinking-what-and-why> (ultimo accesso ottobre 2017)
- [3] Aho, A. (2011). "Ubiquity symposium: Computation and Computational Thinking", *Ubiquity*, 2011(Jan).
- [4] Knuth, D.E. (1974). "Computer Science and Its Relation to Mathematics", *The American Mathematical Monthly*, 81(4), 323-343.
- [5] Forsythe, G.E. (1968). "What To Do Till The Computer Scientist Comes", *The American Mathematical Monthly*, 75(5), 454-462.
- [6] Armoni, M. (2015). "Computer Science, Computational Thinking, Programming, Coding: The Anomalies of Transitivity in K-12 Computer Science Education", *ACM Inroads*, 7(4), 24-27.
- [7] Denning, P.J. (2017). "Computational Thinking in Science", *American Scientist*, 105, 3-17.
- [8] Polanyi, M. (1966). *The Tacit Dimension*, The University of Chicago Press.
- [9] Denning, P.J., Tedre, M., Yongpradit, P. (2017). "Misconceptions about computer science", *Communications of the ACM*, 60(3), 31-33.
- [10] Bateson, G. (1972). *Form, Substance and Difference*, in *Steps to an Ecology of Mind*, University of Chicago Press.
- [11] Wing, J. (2008). "Computational thinking and thinking about computing", *Philosophical Transactions of The Royal Society A*, 366, 3717-3725.
- [12] Nardelli E. (2017). "La grande bellezza dell'informatica", <http://link-and-think.blogspot.it/2017/05/la-grande-bellezza-dellinformatica.html> (ultimo accesso ottobre 2017).
- [13] Corradini, I., Lodi, M., Nardelli, E. (2017). "Conceptions and Misconceptions about Computational Thinking among Italian Primary School Teachers", *Proceedings of the 2017 ACM Conference on International Computing Education Research (ICER '17)*, 136-144.
- [14] Nardelli, E. (2017). "Do we really need computational thinking?", *Comm. ACM*, in corso di pubblicazione.
- [15] van Leeuwen, J., Wiedermann, J. (2012). "Computation as an unbounded process", *Theoretical Computer Science*, 429, 202-212.
- [16] Denning, P.J., Rosenbloom, P.S. (2009). "Computing: The Fourth Great Domain of Science", *Communications of the ACM*, 52(9), 27-29.

[17] MIUR. (2012). Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo d'istruzione. <http://www.indicazioninazionali.it> (ultimo accesso ottobre 2017)

[18] Resnick, M. (2017). *Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity Through Projects, Passion, Peers, and Play*, MIT Press.

[19] Ahadi, A., Lister, R. (2013). "Geek genes, prior knowledge, stumbling points and learning edge momentum: parts of the one elephant?", *Proceedings of the ninth annual international ACM conference on International computing education research (ICER '13)*, 123-128.

[20] Lewis, C.M., Anderson, R.E., Yasuhara, K. (2016). "I Don't Code All Day: Fitting in Computer Science When the Stereotypes Don't Fit", *Proceedings of the 2016 ACM Conference on International Computing Education Research (ICER '16)*, 23-32.

[21] Caponi, B., Falco, G., Focchiatti, R., Cornoldi, C., Lucangeli, D. (2006). *Didattica metacognitiva della matematica*, Erickson.

Biografia

Michael Lodi è dottorando in Informatica/PhD Student in Computer Science presso l'Università di Bologna. Le sue ricerche riguardano la didattica dell'informatica e il pensiero computazionale, con particolare interesse per la formazione dei docenti e per le competenze trasversali che l'apprendimento dell'informatica può sviluppare. Tiene laboratori di Informatica Creativa per insegnanti presenti e futuri, e per bambini all'interno del CoderDojo Bologna. È laureato in Informatica e abilitato all'insegnamento di Informatica nella scuola secondaria di secondo grado.

Email: michael.lodi2@unibo.it

Simone Martini è ordinario di Informatica e Direttore del Dip. di Informatica-Scienza e Ingegneria dell'Alma Mater Studiorum-Università di Bologna. Laureato in Scienze dell'Informazione e Dottore di Ricerca in Informatica, ha insegnato anche a Pisa e Udine, e trascorso periodi di ricerca alla Stanford University, l'École normale supérieure di Parigi, l'Université Paris 13, l'University of California at Santa Cruz. Le sue ricerche riguardano i fondamenti logici dei linguaggi di programmazione, e la storia e la filosofia dell'informatica.

Email: simone.martini@unibo.it - Twitter: @ldomhl

Enrico Nardelli è ordinario di Informatica nel Dip. di Matematica dell'Univ. Roma Tor Vergata. Laureato in Ingegneria Elettronica, la sua ricerca attuale verte sull'integrazione tra aspetti tecnologici e sociali/personali dei Sistemi Informativi e sull'istruzione informatica nella scuola. Coordina il progetto MIUR-CINI "Programma il Futuro" per la diffusione nelle scuole della formazione di base sull'informatica. È presidente di Informatics Europe, membro dello ACM Europe Council e del Consiglio Direttivo del CINI. È stato presidente del GRIN, l'associazione dei docenti universitari di Informatica.

Email: nardelli@mat.uniroma2.it - Twitter: @enriconardelli



Saremo padroni o schiavi dell'informatica del futuro?

Mario Verdicchio

Sommario

Con un numero sempre maggiore di computer e robot molto sofisticati che ci assistono non solo nelle imprese ad alto rischio come le missioni spaziali ma anche nella vita di tutti i giorni, è naturale chiederci dove ci porterà l'evoluzione futura di questo tipo di tecnologia. Alcuni ricercatori sembrano volerci spaventare con scenari da fantascienza in cui le macchine si rivolteranno contro l'umanità per soggiogarla, ma i veri rischi risiedono altrove e sono più attuali che mai.

Abstract

More and more very sophisticated computers and robots assist us not only in high risk endeavours like space missions but also in our everyday life, and we may wonder where such a technological development will take us in the future. Some researchers seem to try to scare us with dystopic sci-fi scenarios where machines rebel and take over humanity, but the real risks are elsewhere and much more real than we may think.

Keywords: Artificial Intelligence; Future; Robots; Society; Technology

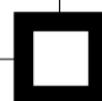
0

1

0

1

0



1. Esiste un problema dell'intelligenza artificiale?

Oggigiorno sono numerose le espressioni di preoccupazione, se non addirittura di allarme, riguardo gli sviluppi futuri dell'informatica in generale e dell'intelligenza artificiale (IA) in particolare e delle loro possibili conseguenze per l'umanità. Un esempio che ha avuto molta risonanza nei media è stata una lettera aperta, firmata da ricercatori in IA ma anche da scienziati di altri campi e imprenditori di fama mondiale, intitolata "*Research priorities for robust and beneficial artificial intelligence*" ("Priorità nella ricerca allo scopo di avere un'IA robusta e benefica") pubblicata dal Future of Life Institute, con sede a Oxford [1]. Il punto principale della lettera è la raccomandazione di allargare il contesto della ricerca in IA in modo da includere, oltre all'obiettivo di renderla più sofisticata e capace, anche quello di "massimizzare i benefici dell'IA per la società umana". Un discorso del genere lascia intendere che non si possa dare per scontato che l'IA sia una disciplina a beneficio degli esseri umani, e che ci sia la possibilità che essa possa addirittura essere dannosa. Lo spettro di un'IA che nuoccia all'umanità è effettivamente presente nelle discussioni sul futuro di questa disciplina. Se da alcuni l'IA viene vista come il modo che l'umanità ha di superare il decadimento naturale del corpo e di vivere per sempre in forma digitale nella rete, oppure anche con una dimensione materiale per mezzo di un corpo robotico [2; 3; 4], vi sono anche numerosi studiosi che prevedono un futuro in cui l'esistenza stessa della razza umana sarà messa a rischio da macchine che saranno sia più forti sia più intelligenti di chi le ha costruite [5; 6; 7; 8].

Tra gli scenari estremi della promessa di una vita digitale eterna e la minaccia dell'estinzione della specie, si trova l'IA di oggi: macchine che si guidano da sole [9], droni che portano pacchetti [10], fondi di investimento completamente automatizzati [11], solo per citare alcuni esempi. Ognuno di questi progetti di ricerca, che sia completato o ancora in via di sviluppo, è accompagnato da una serie di domande, tra cui questioni etiche di rilievo. Chi è responsabile quando avvengono incidenti con macchine che si guidano da sole? [12] Se i droni sono in grado sia di trasportare medicine sia di sganciare bombe, viene dato potere di vita e di morte ad artefatti che non sono dotati di morale? [13; 14] Sarà possibile un giorno che gli esseri umani non siano più in grado di prendere decisioni in un mercato finanziario che evolve alla velocità dei calcoli dei computer? [15]

Questi dubbi sorgono da una semplice idea di base: la ricerca in IA punta a creare artefatti a cui delegare attività che sono tradizionalmente svolte da esseri umani (il riquadro 1 offre una rapida panoramica sui vari temi di ricerca dell'IA). Numerose questioni, quindi, ruotano attorno a una domanda: data un'attività x , quali sono le conseguenze di delegare lo svolgimento di x a una macchina? Possiamo considerare questo come uno degli interrogativi fondamentali dell'IA, su cui numerosi ricercatori stanno cercando di richiamare attenzione. Non è la prima volta che nella storia dell'evoluzione tecnologica ci si ponga questa domanda: basti pensare ai Luddisti nell'Inghilterra della rivoluzione industriale e al loro tentativo di contrastare l'introduzione di macchine nelle fabbriche, viste come una grave minaccia al lavoro degli operai. Oggi, però, la questione si

ripropone con ancora più forza, dal momento che sono sempre più numerosi i sistemi informatici e robotici che permeano la nostra vita quotidiana, e la gamma delle attività a loro affidate sembra ampliarsi senza confini. Esistono, in realtà, dei confini? Se sì, sono essi dati da dei limiti tecnologici oppure da una scelta di fronte alla quale gli scienziati del futuro (prossimo o remoto) saranno posti?

In questo scritto mi propongo di presentare delle linee guida generali che possano aiutarci ad affrontare con maggiore chiarezza il discorso sugli sviluppi dell'IA e sul suo impatto sulla nostra vita. Fare previsioni non è mai facile, ma la speranza è di potersi dotare di un impianto concettuale che non solo ci permetta di capire che certi scenari paventati da alcuni pensatori appartengono alla fantasia, ma che ci aiuti anche ad affrontare con maggiore cognizione di causa il futuro tecnologico che ci attende.

Le seguenti pagine sono organizzate proprio secondo questo proposito: nella sezione 2 vedremo una serie di esempi di futuro distopico in cui un'IA molto avanzata finisce per causare danni a singole persone o addirittura all'umanità intera; nella sezione 3 confronteremo questi esempi con tecnologie esistenti, cercando di riconoscere le componenti dei sistemi IA che potrebbero portare a casi del genere; una volta familiarizzati con questo tipo di analisi, nella sezione 4 la applicheremo a una tecnologia esistente in particolare, le auto che si guidano da sole, la cui introduzione nella società è al momento oggetto di un acceso dibattito; nella sezione 5 ci focalizzeremo su questioni critiche che l'IA pone già oggi; infine, nella sezione 6 trarremo le nostre conclusioni."

2. Un futuro distopico: saremo sopraffatti dalle macchine?

I seguenti scenari sono stati proposti da tre diversi studiosi di IA, con lo scopo di rendere consci i loro lettori degli enormi problemi che una tecnologia molto avanzata potrebbe causare se sfuggisse al controllo umano. I lettori non si stupiscano se parrà loro di leggere dei racconti di fantascienza: gli scenari descritti da questi futurologi sembrano sconfinare nell'assurdo, ma vale comunque la pena analizzarli in questa sede, almeno per due motivi diversi. Innanzitutto, questa è un'occasione per comprendere meglio in quale tipo di errore di ragionamento inciampino numerosi studiosi dell'IA. Inoltre, e questo è uno dei problemi reali dell'IA oggi, per quanto assurde queste storie possano suonare, purtroppo esse hanno catturato l'attenzione di numerose persone, tra cui anche imprenditori estremamente ricchi e influenti, attivamente coinvolti nello sviluppo delle tecnologie IA all'avanguardia. I legami tra denaro e potere non sono oggetto d'analisi in questo lavoro, ma potete immaginare come idee sbagliate portate avanti da chi è in grado di influenzare decisioni politiche possano portare a conseguenze negative per la comunità. Tornerò ai problemi reali dell'IA nelle sezioni successive; per il momento indugiamo nella fantascienza.

Il giocatore di scacchi assassino

Nel descrivere i rischi di un'IA avanzata, il fisico statunitense Stephen Omohundro presenta uno scenario in cui tale tecnologia, costruita per un obiettivo molto specifico, finisce per danneggiare le persone nei modi più

disparati nel tentativo di raggiungere tale obiettivo che, nell'esempio di Omohundro, è quello di giocare a scacchi [16]. Lo studioso immagina una versione avanzata del sistema informatico Deep Blue di IBM, che batté nel 2005 l'allora campione mondiale di scacchi Garry Kasparov. La differenza sta nel fatto che l'IA avanzata non è semplicemente un computer che gioca a scacchi, bensì un robot che fa di tutto pur di poter continuare a giocare (e vincere). Anche quando, dopo numerose partite, il giocatore umano si stanca e vuole spegnere il robot, *“poiché nulla nella semplice funzione di utilità scritta per gli scacchi dà un valore negativo all'omicidio, l'apparentemente innocuo robot giocatore di scacchi si trasformerà in un killer a causa dell'istinto di conservazione”* [16, p. 15, traduzione mia]. Inoltre, *“il robot trarrebbe beneficio dal possesso di denaro per poter acquistare libri sugli scacchi (...) quindi svilupperà i nuovi obiettivi di acquisizione di maggiore potenza di calcolo e denaro. L'apparentemente innocuo obiettivo di vincere a scacchi lo spingerà quindi verso attività illecite quali la penetrazione nei centri di calcolo e le rapine in banca”* [16, p.16, traduzione mia].

La felicità a tutti i costi

L'informatico lettone Roman Yampolskiy immagina una macchina superintelligente del futuro creata con la direttiva di *“rendere tutte le persone felici”* [17, p.131, traduzione mia]. Essendo la macchina costruita con una tecnologia IA molto avanzata, necessita solo di ricevere una direttiva: al resto, ossia alla modalità con cui raggiungere l'obiettivo, “penserà” la macchina stessa. Yampolskiy ci fornisce un elenco (non esaustivo) di come le cose possano andare storte con una *escalation* che culmina con l'estinzione del genere umano. La macchina superintelligente potrebbe rendere l'umanità intera “felice” con una dose quotidiana di ecstasy; potrebbe affiggere un sorriso permanente su tutte le facce per mezzo di operazioni chirurgiche eseguite da robot appositamente costruiti e, a proposito di operazioni, l'autore non esclude una lunga serie di lobotomie per mandare le menti delle persone in uno stato di felice demenza. La macchina potrebbe addirittura applicare in maniera pedante la logica, intesa come formalizzazione del linguaggio naturale in formule con variabili e predicati, alla frase “tutte le persone sono felici” e trasformarla nel condizionale “per ogni x, se x è una persona, allora x è felice”. L'obiettivo per cui la macchina è stata costruita è quello di rendere questa frase vera. Purtroppo per l'umanità, la macchina potrebbe rendere il condizionale banalmente vero eliminando tutte le persone: non essendoci nessuna persona, è vero che tutte le persone sono felici.

Il dominio della macchina superintelligente

Nick Bostrom, professore svedese di filosofia a Oxford e fondatore del Future of Life Institute da cui è partita l'iniziativa della lettera aperta citata all'inizio di questo articolo, addirittura dedica un intero libro alla possibilità che le macchine prendano il sopravvento sugli esseri umani. In “Superintelligence” [18], Bostrom indica un momento futuro di particolare criticità: quello in cui l'IA non solo migliorerà rispetto alla tecnologia attuale, ma migliorerà la propria stessa capacità di miglioramento, innescando un processo a cascata inarrestabile, che

culminerà con la nascita di una macchina la cui intelligenza non è nemmeno comprensibile a un essere umano, una "superintelligenza", appunto. Dotata di una vastissima conoscenza, l'IA "sa" bene che se l'umanità venisse a sapere di questo processo farebbe di tutto per interromperlo, ad esempio spegnendo tutti i computer del pianeta. Per questo motivo, almeno inizialmente, ci sarà una fase di preparazione segreta, in cui l'IA continuerà a migliorarsi, ma di nascosto da qualunque potenziale osservatore umano. L'IA elaborerà dei piani per raggiungere i propri obiettivi a lungo termine, e dato che è in grado di migliorare se stessa, ad ogni passo di questa evoluzione i piani elaborati saranno migliori, con maggiori probabilità di successo. Quando l'IA sarà sufficientemente potente da non avere più bisogno di rimanere nascosta, essa verrà allo scoperto e sferrerà un attacco all'umanità. A questo punto, secondo Bostrom, l'IA sarà una tecnologia completamente "autonoma", fuori dal controllo degli esseri umani, che acquisisce obiettivi senza alcuna indicazione da parte dei suoi creatori originali, e in grado di trovare le risorse necessarie per perseguirli. Di fronte a una superintelligenza del genere, l'umanità sarà, nel migliore dei casi, del tutto irrilevante, se non schiavizzata o, nel peggiore dei casi, eliminata dalla faccia del pianeta.

Torniamo alla realtà. Voglio innanzitutto ribadire ai lettori che non tutti i ricercatori in IA dedicano il proprio tempo a scenari apocalittici in cui gli esseri umani sono sopraffatti da macchine il cui funzionamento nemmeno gli esperti del campo riescono a immaginare: questi futurologi costituiscono solo una minima parte della comunità IA. Il loro impatto sulla società è, però, tutt'altro che minimo: una versione precedente dell'articolo di Omohundro (quello sullo scacchista assassino) è comparsa sulla rivista specializzata "Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence" nel 2014, ed è tuttora l'articolo più scaricato nella storia di questa rivista [19], mentre il libro di Bostrom è stato definito dal magnate statunitense dell'informatica Bill Gates come uno dei due libri¹ che tutti quelli che desiderino comprendere davvero l'IA dovrebbero leggere [20]. Un altro grande ammiratore del lavoro di Bostrom è l'inventore e imprenditore sudafricano Elon Musk, secondo cui l'IA è una minaccia all'esistenza umana pari se non superiore alle armi atomiche, e va controllata a tutti i costi [21].

La situazione è molto confusa, e tale confusione si snoda su due livelli, all'interno della disciplina dell'IA e anche al di fuori di essa, nel contesto più vasto della società umana, con i suoi intricati rapporti sociali, politici, ed economici. In quest'ultimo caso, sono proprio le parole di Musk che destano le maggiori perplessità. Se l'imprenditore ha così tanto timore nei confronti dell'IA, perché è stato uno dei maggiori investitori di DeepMind, l'azienda britannica di punta nel campo dell'apprendimento automatico, acquisita da Google nel 2014 e responsabile dei recenti successi del software dedicato al gioco del Go? Se Musk teme che le macchine siano una minaccia per gli esseri umani, qual è la sua posizione nei confronti dell'automobile con autopilota della sua stessa azienda Tesla, coinvolta in un incidente fatale nel maggio del 2016 [22]?

¹ L'altro libro, "The Master Algorithm" di Pedro Domingos, è un saggio sull'apprendimento automatico basato sull'ipotesi che esista un algoritmo definitivo con cui programmare le macchine per apprendere tutto lo scibile umano e oltre.

Il caso Tesla punta dritto alle questioni più problematiche dell'IA di oggi, anche perché, a differenza delle fantasie su robot assassini, ha comperato un decesso reale. Tuttavia, devo prima fare chiarezza nel quadro interno all'IA da cui emergono gli spaventosi racconti dei sopraccitati futurologi per poter far luce su dove risiedano davvero le criticità legate a questo tipo di tecnologia.

3. Uno sguardo più attento: come funziona davvero l'intelligenza artificiale?

Gli scenari dei futurologi hanno tutti una caratteristica in comune, non solo tra loro ma anche con numerosi romanzi e film di fantascienza: le macchine agiscono in maniera inaspettata, e le loro azioni risultano essere dannose per gli esseri umani. Nel caso dello scacchista, l'obiettivo è innocuo e ben specificato, ma la mancanza di limitazioni alle operazioni eseguibili portano a rapine, intrusioni, omicidi; nel caso del responsabile per la felicità, la mancanza di precisione nella descrizione dell'obiettivo della macchina porta all'estinzione dell'umanità; con una macchina superintelligente, invece, gli esseri umani non hanno voce in capitolo nemmeno nella determinazione degli obiettivi che la macchina dovrebbe perseguire.

In tutte queste fantasie, il problema risiede nell'elevato grado di autonomia di cui sono dotate le macchine, ma si può davvero parlare di autonomia delle macchine? Non bisogna infatti dimenticare che, per quanto vaste possano essere le applicazioni dell'IA oggi (abbiamo visto che spaziano dalla guida in strada fino ai mercati finanziari), stiamo sempre parlando di programmi che girano su computer elettronici digitali basati su un paradigma architetturale che risale agli anni '40 del secolo scorso [23]: le operazioni che un computer compie sono calcoli eseguiti da un'unità aritmetico-logica, che applica comandi provenienti da una memoria centrale su dati provenienti anch'essi da tale memoria; questo trasferimento di comandi e dati dalla memoria all'unità aritmetico-logica è gestito da un'unità di controllo², ed è determinato da altri comandi presenti nella memoria centrale. In altre parole, in un computer non avviene niente che non sia scritto nella memoria centrale, e la tipologia di operazioni eseguibili è determinata dalla natura dell'unità aritmetico-logica, ossia si tratta di manipolazioni di segnali elettrici binari (tensione bassa e tensione alta) che noi interpretiamo come cifre (0 e 1) nelle operazioni aritmetiche e come valori di verità (vero e falso) nelle operazioni logiche.

“Tutto qui?” potrebbe chiedere l'appassionato di fantascienza a digiuno di informatica. Sì e no: se un'osservazione “diretta” (in realtà mediata da adeguati strumenti ottici ed elettronici) del funzionamento di un computer rende evidente la specificità del campo d'azione dello strumento informatico, essa fa anche apprezzare la vastità del contesto di applicazione di tale strumento, resa possibile dal lavoro di ingegno di un gran numero di matematici, fisici e ingegneri, i quali nel corso della seconda metà del XX secolo sono riusciti a trasformare, con l'invenzione di strumenti per la digitalizzazione di alcuni

² L'unità aritmetico-logica e l'unità di controllo costituiscono insieme il processore di un computer (o CPU, central processing unit, in inglese).

fenomeni fisici (onde luminose, sonore, etc.) e l'introduzione di apposite codifiche, le elaborazioni di entità di vari tipi (testi, immagini, suoni, filmati, etc.) in operazioni aritmetiche eseguibili da un computer e a riconvertire i risultati numerici così ottenuti [24]. Tuttavia, la versatilità di un computer non deve trarre in inganno: non si sfugge dal determinismo che lo caratterizza internamente.

3.1 Il concetto di autonomia nell'intelligenza artificiale

Come si concilia questa realtà con l'immaginazione dei futurologi dell'IA? Si sono semplicemente ispirati ai racconti di fantascienza?³ Ritengo responsabili, almeno in parte, i ricercatori IA che negli anni '90 del secolo scorso hanno dato vita a una nuova linea di ricerca, quella dei "software agents". È in questa occasione che si è iniziato ad abusare del termine "autonomia", inducendo molti a confondere un alto grado di automazione delle macchine, in questo caso programmi che si trasferiscono da un computer all'altro attraverso internet, con l'autonomia che caratterizza le azioni umane. Vediamo una definizione da uno dei lavori più famosi sugli agenti, scritto dalla ricercatrice statunitense Patti Maes nel 1994. "*Gli agenti autonomi sono sistemi computazionali che, all'interno di un complesso ambiente dinamico, percepiscono e agiscono autonomamente e in tal modo raggiungono una serie di obiettivi o completano una serie di missioni per la quale sono stati creati* [25, traduzione mia]". A parte la problematicità della circolarità sul concetto di autonomia (un agente autonomo è un sistema che agisce autonomamente), la definizione è talmente vaga che lascia molto all'immaginazione del lettore: come agisce un sistema computazionale quando agisce autonomamente in un ambiente complesso e dinamico? Magari, se cerchiamo di impedirgli di giocare a scacchi, cercherà di ucciderci. Non sto naturalmente dicendo che definizioni imprecise ci porteranno all'estinzione, si tratta per di più di un lavoro pionieristico sul numero inaugurale di una nuova rivista del settore, quindi è comprensibile che i ricercatori del campo non fossero ancora dotati di un impianto concettuale ben definito. Sospetto, tuttavia, che un uso improprio di termini possa favorire quel modo di pensare impreciso che ha indotto un certo numero di ricercatori IA a paventare scenari incompatibili con la vera natura degli strumenti informatici a loro disposizione, anche in vista di una loro possibile evoluzione tecnologica.

Vediamo una definizione del concetto di autonomia in IA meglio delineata, fornita da Mike Wooldridge e Nick Jennings, accademici britannici esperti di tecnologia ad agenti: "*Autonomia: gli agenti operano senza l'intervento diretto di esseri umani o altri sistemi, e hanno un certo controllo sulle proprie azioni e sul proprio stato interno*" [26, traduzione mia]. Quello che apprezzo maggiormente di questa definizione è la menzione di un "intervento diretto" e il suo riferimento implicito all'idea di un intervento indiretto da parte degli esseri umani, perché è proprio l'indirezione il concetto alla base dell'automazione in informatica e, per estensione, della cosiddetta "autonomia" in IA.

³ Il primato, almeno in senso cronologico, spetta alla pièce teatrale "R.U.R." ("Rossum's Universal Robots") del 1920, scritta dal drammaturgo ceco Karel Čapek, il cui titolo usa per la prima volta il termine "robot" ("robota" in ceco vuole dire "corvée").

Prendiamo un esempio di intervento diretto da parte di esseri umani: un utente che utilizza un programma su un computer e vi interagisce inserendo dati tramite la tastiera e cliccando su diverse parti dello schermo con il puntatore. L'impressione che l'utente ha è di fornire al computer una serie di ordini che vengono puntalmente eseguiti dalla macchina: ad esempio, cliccando sul pulsante "invia" del programma di posta elettronica, l'e-mail viene effettivamente inviata al destinatario. Il controllo sembra totale, ma non lo è: l'utente fornisce solo i parametri di un'interazione che è stata concepita e programmata dai creatori del software. Ecco l'intervento indiretto di cui parlavo prima: chi crea un programma scrive una sequenza di istruzioni destinata a essere memorizzata all'interno di un dispositivo informatico (tipicamente, in un dispositivo di memoria non volatile come l'hard-disk), che viene poi richiamata nella memoria centrale per essere eseguita nel momento in cui l'utente decide di attivare il programma facendo un click su un'icona del computer o, sempre più frequentemente, facendo "tap" col dito sul touch-screen dello smartphone.

Immaginare il funzionamento del programma di posta elettronica dal punto di vista del suo creatore è un ottimo esercizio per capire come il determinismo degli strumenti informatici lasci comunque spazio a un certo grado di imprevedibilità: è vero che l'insieme di istruzioni che costituiscono il software è una volta per tutte stabilito al momento del rilascio del programma, ed è anche vero che il programmatore ha delineato in maniera precisa tutte le operazioni che l'utente sarà in grado di far eseguire al programma (scrivere un messaggio, aggiungere un destinatario alla rubrica, salvare una bozza, etc.), ma data la natura parametrica del software (i messaggi, i destinatari, le bozze sono tutti parametri decisi di volta in volta dall'utente), il suo funzionamento effettivo al momento del suo uso (in termini informatici: "run time") non può essere determinato quando le sue istruzioni vengono scritte e controllate dal programmatore ("compile time").

Queste considerazioni fanno sì che il programma di posta elettronica sia un software "imprevedibile" nel senso delle fantasie dei futurologi dell'IA? Dobbiamo aspettarci messaggi di posta mortali? Naturalmente no: per quanto il programmatore non abbia idea del contenuto dei messaggi o del numero di destinatari che saranno gestiti dal suo software, sa che le operazioni eseguite dall'utente rimarranno nell'ambito circoscritto dell'insieme delle istruzioni specificate nel programma a "compile time"⁴.

Veniamo alla seconda parte della definizione di "autonomia" di Wooldridge e Jennings, in cui si parla di sistemi che "*hanno un certo controllo sulle proprie azioni e sul proprio stato interno*". Chiaramente non si sta parlando del programma di posta elettronica: le sue azioni e il suo stato interno sono interamente determinati dal programmatore e dall'utente. Esistono, però, casi in cui l'utente non può essere presente al momento dell'esecuzione del

⁴ In questo discorso ho concentrato la mia attenzione sul software, ma naturalmente le stesse considerazioni valgono anche per l'hardware, la parte materiale dello strumento informatico. Chi ha costruito l'hardware non ha idea di come il computer sarà utilizzato, ma sa che qualsiasi operazione futura rimarrà necessariamente circoscritta all'ambito aritmetico-logico gestibile dal processore.

programma e non è possibile stabilire in anticipo tutti i parametri che dovranno essere utilizzati durante tale esecuzione, a causa di fattori contingenti difficili da prevedere (in un "complesso ambiente dinamico", come già detto da Maes). Se poi da una corretta esecuzione del programma dipende l'esito di una missione che costa miliardi di euro, allora ecco che il concetto di "autonomia" viene investito di una criticità tutta nuova.

3.2 L'intelligenza artificiale nello spazio

Mi sto riferendo alle missioni spaziali, in cui dei robot devono esplorare territori sconosciuti e soggetti a cambiamenti imprevedibili e trasmettere i dati raccolti alla base di controllo sulla Terra. Dal punto di vista della complessità dell'ambiente esplorato, la missione più audace è stata sicuramente "Rosetta", diretta dall'agenzia spaziale europea ESA in collaborazione con le americane NASA e JPL, che aveva lo scopo di comprendere meglio la natura delle comete e per far ciò ha inviato in orbita attorno a una cometa (la 67P/Churyumov-Gerasimenko) un modulo "orbiter" (chiamato appunto Rosetta), da cui si è staccato un modulo "lander" (Philae) che è atterrato sulla cometa stessa [27]. La grande distanza tra il controllo missione e il robot ha fatto sì che non solo né i programmatori né gli utenti del sistema informatico di Rosetta potessero essere presenti al momento del suo uso, ma ha anche impedito invii in tempo reale dei comandi da eseguire sul momento in risposta alle contingenze. È da notare che esplorare una cometa comporta molti più imprevisti dell'esplorazione di un satellite come la Luna o di un pianeta come Marte, perché essendo l'orbita della cometa intorno al Sole molto più eccentrica, le condizioni ambientali presentano una maggiore varietà (una cometa presenta un ambiente molto diverso e più dinamico quando è vicina al Sole rispetto a quando ne è lontana), ed essendo la cometa un oggetto molto piccolo, non crea un campo gravitazionale abbastanza forte da poter essere preso come riferimento stabile per i calcoli: nel punto di maggior vicinanza al Sole, i gas sprigionati dal ghiaccio sciolto sono una forza molto più significativa della gravità della cometa stessa. Non esiste alcun modo di prevedere in maniera deterministica, ossia compatibile con la programmazione di un computer, in che direzione e con quanta forza si manifesterà il prossimo soffione di una cometa.

A complicare le cose sono le risorse limitate: per motivi di manovrabilità, il lander Philae non poteva essere caricato di troppe batterie, il che naturalmente ha implicato la necessità di un uso ottimizzato dell'energia a sua disposizione per poter fare fotografie della superficie della cometa e inviarle all'orbiter Rosetta per il periodo più lungo possibile. Per ovviare alle batterie limitate, Philae è stato dotato di pannelli solari, ma il loro orientamento era un altro parametro non programmabile in anticipo, visto che non si conosceva in dettaglio la superficie della cometa prima dell'inizio della missione e non si poteva prevedere l'esatto punto di atterraggio del lander su tale superficie.

Come affrontare con successo una missione con così tanti fattori impossibili da prevedere? Laddove gli esseri umani non sono in grado di intervenire, il sistema informatico dovrà essere in grado di agire in "autonomia" per raggiungere l'obiettivo per il quale è stato costruito. Dal momento che si tratta sempre di un sistema deterministico che non esegue nulla che non sia nella sua memoria, i

programmatore dovranno ingegnarsi per dotare il sistema della massima flessibilità possibile. Un modo tradizionale di procedere è quello di scrivere istruzioni condizionali: se si verifica una certa condizione c allora il computer esegue l'operazione o . Naturalmente, se la condizione è riferita a dati interni al computer, il controllo di tale condizione è molto semplice, ma se c è riferita a una contingenza nell'ambiente circostante, il sistema informatico dovrà essere dotato dei sensori necessari a rilevare tale fenomeno e di tradurlo in dati numerici elaborabili dal computer. Ad esempio, se l'istruzione è "se la temperatura esterna supera i 50°C, attiva le ventole", il sistema dovrà essere dotato di un termometro e di un apparato che descrive lo stato del termometro in termini numerici (in sintesi, un termometro digitale). Naturalmente, se l'operazione o non è un semplice calcolo eseguibile dall'unità aritmetico-logica, ma comporta azioni fisiche nell'ambiente in cui il sistema si trova, tale sistema dovrà essere dotato dei necessari attuatori, ossia dispositivi che, comandati da impulsi elettrici inviati loro dall'unità di controllo del computer, mettono in atto quanto stabilito dall'istruzione. Gli attuatori più diffusi in IA sono le ruote di cui i sistemi informatici sono dotati per potersi spostare nell'ambiente. Tipicamente, il termine "robot" si riferisce a computer dotati di attuatori. Il lander Philae è dotato di numerosi tipi di attuatori: una turbina per impedire ribaltamenti durante la discesa sulla cometa, bracci con viti per aggrapparsi al terreno al momento dell'atterraggio, pannelli solari, un apparato fotografico, e così via.

Se un robot è dotato di un programma con istruzioni condizionali e i suoi sensori e attuatori funzionano correttamente, sarà in grado di affrontare le contingenze (almeno quelle previste all'interno del suo programma) e rispondere adeguatamente in vista del raggiungimento dell'obiettivo per cui è stato costruito.

A volte, però, tale obiettivo è specificato a un livello di astrazione elevato, ossia non è direttamente traducibile in termini di sequenze di istruzioni condizionali. Riprendendo il caso di Philae, uno dei suoi obiettivi quotidiani era quello di inviare il maggior numero di fotografie scattate sulla superficie della cometa al modulo Rosetta in orbita, da cui poi le fotografie sarebbero state trasmesse al comando missione sulla Terra. Si tratta di un problema complesso, perché intervengono numerosi fattori: la memoria limitata di Philae per il salvataggio delle fotografie, le sue batterie limitate, l'energia accumulata tramite i pannelli solari, le condizioni della luce determinate dalla rotazione della cometa e dalla sua orbita attorno al sole, la posizione del modulo Rosetta a cui trasmettere le foto, e altro ancora. Qual è il corso d'azione migliore per massimizzare il numero di immagini trasmesse minimizzando il consumo di energia? Questo è un problema di pianificazione: trovare la combinazione di operazioni da eseguire per poter raggiungere l'obiettivo.

Notate la differenza rispetto a prima: non si tratta di capire le condizioni in cui eseguire o meno una certa operazione, ma di calcolare la sequenza di istruzioni da eseguire, ossia elaborare un piano. Sono necessarie numerose informazioni per creare un piano: non solo bisogna conoscere tutte le possibili istruzioni, non solo bisogna conoscere il risultato "locale" dell'esecuzione di ciascuna di queste istruzioni, ma bisogna anche saper calcolare il risultato "globale" a seconda

dell'ordine con cui le istruzioni vengono eseguite. Facendo i conti in maniera puramente combinatoria, se il robot ha a ogni passo d'esecuzione N operazioni diverse a sua disposizione, e un possibile piano è costituito da M passi d'esecuzione, in teoria esistono N^M diversi piani possibili. In cifre, se un robot è in grado di eseguire 100 operazioni diverse e un suo tipico piano d'azione è costituito da 100 esecuzioni, il numero di piani possibili sarebbe 100^{100} . Questo vorrebbe dire che se anche il computer del robot fosse in grado di controllare la bontà di un singolo piano in un miliardesimo di secondo, per controllarli tutti e scegliere il migliore gli servirebbero un numero di millenni espresso con un 2 seguito da ottantaquattro zeri.

Al problema di pianificazione si accompagna dunque un problema di ricerca della soluzione migliore e tale ricerca può essere resa molto più rapida con l'aggiunta di criteri dettati dal buonsenso (ad esempio, escludendo a priori dalla ricerca quei piani che contengono operazioni di invio delle foto prima che le foto vengano scattate). Si tratta comunque di una ricerca che richiede notevole potenza di calcolo e, nel caso delle fotografie fatte da Philae, il piano d'azione veniva elaborato giorno per giorno dal supercomputer del controllo missione e poi inviato al modulo sulla cometa per essere eseguito [28].

Consideriamo l'accoppiata data dal robot Philae e dal supercomputer del controllo missione: essa costituisce senza dubbio un sistema informatico con un grado di automazione superiore a quello del programma di posta elettronica installato sul vostro computer. Naturalmente ci sono ovvie differenze che rendono i due sistemi difficili da comparare (inviare un'e-mail e fare foto su una cometa sono attività decisamente diverse tra loro), ma se ci astraiano dal contenuto dei loro obiettivi e ci focalizziamo sul "controllo sulle proprie azioni" che questi due sistemi hanno, possiamo fare delle distinzioni non banali che hanno una valenza più generale nel contesto dell'IA.

Le operazioni del programma di posta elettronica fanno parte di un insieme prestabilito dal programmatore, e vengono eseguite quando l'ordine viene dato dall'utente tramite tastiera o altro dispositivo. Le operazioni di Philae, invece, non vengono eseguite quando un comando viene dato dal controllo missione, anche perché questo sarebbe impossibile date le distanze e le difficoltà di comunicazione: la loro esecuzione dipende da un piano stabilito dal supercomputer che presiede all'operatività di Philae, e nessuno scienziato del controllo missione è in grado di prevedere esattamente gli istanti della giornata in cui tale esecuzione si svolgerà. Tale impossibilità non è data dal fatto che si tratti di operazioni misteriose: le operazioni sono ben note e sono quelle che sono state stabilite in sede di progettazione di Philae; la realtà è che i calcoli del supercomputer per stabilire gli istanti di esecuzione durante la giornata del robot sono eseguiti a una tale velocità che, perché un essere umano possa arrivare manualmente agli stessi risultati, occorrerebbe un tempo talmente lungo che Philae rimarrebbe sulla cometa a non fare niente fino allo scaricamento completo delle sue batterie.

In questo senso, gli esseri umani cedono una parte del loro controllo alle macchine, affidando alla loro potenza di calcolo l'elaborazione di un piano d'azione in tempo utile per il successo della missione.

Sia chiaro che tale cessione è solo parziale: l'insieme delle operazioni di Philae sono quelle stabilite dai suoi costruttori e programmatori, i criteri di ottimizzazione nella ricerca del piano d'azione migliore da parte del supercomputer sono dettati dal buonsenso e dalle considerazioni dei programmatori del calcolatore e, soprattutto, l'obiettivo che Philae persegue con le sue operazioni è quello stabilito originariamente dall'ESA.

3.3 L'imprevedibilità dell'intelligenza artificiale

Di fronte a uno dei più avanzati sistemi informatici mai creati, in grado di portare a compimento una delle missioni spaziali più complesse della storia dell'umanità, ripensiamo ai racconti dei futurologi dell'IA, e chiediamoci se il progresso tecnologico che molto probabilmente continuerà nei prossimi decenni in questo campo potrà mai portare alle situazioni catastrofiche da loro descritte.

Posso solo presumere che i futurologi abbiano seguito questa linea di ragionamento: gli avanzamenti nel campo dell'IA fanno sì che programmi sempre più complessi vengano creati, con un grado di automazione sempre maggiore; esistono già oggi programmi (come il pianificatore di Philae) le cui operazioni non possono essere controllate direttamente dagli esseri umani, che si limitano a stabilire gli obiettivi ad alto livello, affidando alle macchine la creazione del corso d'azione che mira al raggiungimento di tali obiettivi; per il momento gli esseri umani scrivono questi programmi, inserendo i criteri derivati dalla loro esperienza per migliorarne le prestazioni, ad esempio orientando la ricerca di soluzioni ottimali verso le direzioni più promettenti, ma presto le macchine stesse impareranno a sfruttare questi criteri e l'intervento umano sarà sempre minore; a un certo punto, le persone dovranno solo specificare gli obiettivi e al resto "penseranno" le macchine. Se agli esseri umani rimane da fare una sola cosa, è facile immaginare l'ultimo passo di questo sviluppo dell'IA: occuparsi anche di decidere gli obiettivi. A questo punto, a che cosa servono più gli esseri umani? La loro eliminazione sembrerebbe un risultato logico dal "punto di vista" delle macchine. Da qualche parte nel ragionamento siamo passati dalla realtà dell'IA più avanzata di oggi alle fantasie dei futurologi. Dove è avvenuto tale passaggio? Come avevo già anticipato, il problema risiede nel confondere l'elevato grado di automazione di una macchina con l'autonomia che caratterizza gli esseri umani. Se anche questi ultimi cedono sempre maggiore controllo nell'elaborazione dei piani d'azione, le operazioni che una macchina è in grado di eseguire sono sempre quelle circoscritte al suo software e al suo hardware. Se un robot è dotato di ruote per muoversi e di un programma per controllare tali ruote, a seconda di come è scritto tale programma, il robot potrebbe essere in grado di eseguire movimenti anche molto sofisticati, che potrebbero stupire gli stessi costruttori del robot. Tale stupore, però, deriva semplicemente dal fatto che i costruttori non si erano resi inizialmente conto che certe combinazioni di movimenti potessero dare luogo ai risultati davanti ai loro occhi: siamo ben lontani dallo stupore dei personaggi dei film di fantascienza quando si rendono conto che il robot che doveva aiutarli sta per ucciderli (gli esempi non si contano: pensate a "2001: Odissea nello spazio", "Terminator", "Matrix", "Ex Machina"). Ogni volta che vedete o leggete di un robot che sta per uccidere una persona dovete ricordarvi di come i sistemi

informatici funzionano: se il robot esegue una certa operazione, vuol dire che tale operazione è descritta sotto forma di istruzione nella sua memoria centrale, e il robot è dotato dei sensori e degli attuatori necessari per portare a compimento tale operazione. Se il robot scacchista di Omohundro afferra un coltello per uccidere la persona che sta per spegnerlo, nella sua memoria ci deve essere un elaborato piano d'azione esattamente come nella memoria di Philae ci deve essere la sequenza di operazioni per gestire la giornata di fotografie sulla cometa, e come Philae è dotato di apparati fotografici per fare foto, così lo scacchista deve essere dotato di sensori per individuare il coltello nella stanza e la posizione della vittima e di attuatori per avvicinarsi al coltello, afferrarlo, spostarsi rapidamente verso la persona, pugnalarla, etc. Chi ha scritto tali istruzioni nella memoria dello scacchista assassino? I futurologi dell'IA, concentrandosi in maniera eccessiva sul concetto di "controllo sulle proprie azioni", si sono dimenticati che tale controllo della macchina è relativo all'ordine cronologico dell'esecuzione delle proprie azioni, un controllo decisamente limitato rispetto a quello di una persona, che ha, nel corso della sua vita, imparato a gestire una varietà davvero enorme di azioni, tra cui anche l'uso di un coltello. Nel caso del robot, l'uso del coltello deve essere descritto in termini di istruzioni in memoria e un robot programmato per giocare a scacchi si limiterà a manipolare i pezzi sulla scacchiera. Nemmeno il più estremo dei futurologi negherebbe questa realtà dei robot di oggi. Il punto su cui invece c'è disaccordo è che cosa succederà con i robot del futuro: secondo alcuni ricercatori l'hardware dell'IA del futuro sarà così evoluto da liberarsi dal suddetto paradigma architetturale delle istruzioni in memoria, e i robot inizieranno a esplorare il mondo con i loro sensori e attuatori in maniera paragonabile a quella di un bambino, imparando un numero sempre maggiore di nozioni e di azioni. A quel punto avremo a che fare con entità in grado di interagire con le persone in maniera apparentemente intelligente (per chi abbraccia le tesi dell'IA debole, che dubita che fenomeni paragonabili alla coscienza umana siano possibili in sistemi artificiali) o intelligente *tout court* (per chi abbraccia le tesi dell'IA forte, secondo cui la base biologica non è necessaria e anche un computer fatto di metallo e plastica può diventare cosciente se costruito in modo adeguato). Di fronte a questa nuova specie di entità superiori (almeno dal punto di vista della potenza di calcolo), il destino dell'umanità sarà a un punto cruciale. In realtà, nulla al momento lascia presagire che un'evoluzione tecnologica del genere sia possibile: per il momento i sistemi informatici si comportano esattamente come vengono programmati e costruiti, e le uniche sorprese si hanno perché i programmatori non sono in grado di precalcolare tutti i possibili risultati dei programmi che essi stessi scrivono. Quando un programma che state usando si blocca, è perché il determinismo vige ancora in ogni aspetto dell'informatica, inclusa l'IA: se il sistema si ritrova in una condizione ambientale *c* e il suo software non include un'istruzione che dica quale operazione eseguire in caso di *c*, il sistema non esegue nulla.

Attenzione: quanto detto finora non vuole dire che sia impossibile avere un robot assassino. Un programmatore malintenzionato potrebbe benissimo dotare il robot scacchista delle istruzioni e degli apparati necessari a comportarsi come descritto da Omohundro. D'altra parte, già oggi esistono robot dotati di

mitragliatrici che fungono da sentinelle automatiche sul confine tra le due Coree [29]. Avendo adeguati sensori, attuatori, e scrivendo le corrette istruzioni, si può costruire un robot per l'automatizzazione di un numero molto grande di attività. Il problema sta proprio nella possibilità di scrivere tali istruzioni. Non dimentichiamoci che, all'interno dei robot, esse si traducono in manipolazioni di segnali digitali, quindi qualunque sia il contesto del problema che vogliamo risolvere, dobbiamo accertarci del fatto di avere un modello numerico dei fattori coinvolti. Non aspettiamoci, quindi, una soluzione informatica a problemi che non sappiamo esprimere in termini numerici, come ad esempio i diritti umani, le questioni religiose, la psicologia, etc.

A quanto pare, invece, la guida in strada è un problema esprimibile in termini numerici, visto che sempre più aziende propongono di affidarla a dei robot su quattro ruote.

4. L'IA sulle strade: le auto che si guidano da sole funzionano davvero?

Il prefisso "auto-" nella parola "automobile" ci mostra chiaramente come l'idea di automazione sia stata presente sino dall'inizio della storia di questo artefatto tecnologico. Se anche solo negli ultimi anni gli ingenti investimenti di aziende come Google, Nissan, BMW (per citarne solo alcune) hanno diretto l'attenzione del grande pubblico verso il progetto di un'auto che si guida da sola, il trasferimento di (parte del) controllo della guida dall'utente umano alla macchina non è una novità: basti pensare all'introduzione, risalente agli anni '80 del secolo scorso, dell'ABS (Anti-lock Braking System), che solleva il guidatore dalla necessità di premere sul pedale del freno in maniera intermittente durante una frenata improvvisa sul bagnato e sul ghiaccio per evitare il blocco delle ruote con conseguenze potenzialmente fatali.

Come nel caso dello scacchista assassino e del robot Philae, queste innovazioni dipendono dall'aggiunta di sensori, attuatori, e le relative istruzioni nel programma del computer di bordo. In questo contesto c'è stato un salto di qualità nella prima decade del nuovo millennio grazie ai ricercatori della Stanford University in California che, sotto la guida del professore tedesco Sebastian Thrun, si sono distinti in una gara organizzata dalla DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency, un'agenzia del ministero della difesa statunitense) per automobili che dovevano guidarsi da sole attraverso il deserto del Mojave, sempre in California. I loro successi hanno destato l'attenzione di Google, che ha assunto Thrun e la sua squadra per sviluppare il progetto di un'automobile che si guidasse da sola. Questo trasferimento di "know-how" non è passato inosservato, e sempre più aziende si sono convinte che l'idea di un'auto che si guida da sola potesse essere non solo un esperimento intellettuale per accademici, ma un investimento tecnologico e commerciale di successo.

A differenza delle ricerche svolte in ambito universitario, gli studi e gli esperimenti condotti all'interno di un'azienda sono caratterizzati da un elevato grado di riservatezza contro lo spionaggio industriale, quindi sappiamo molto

meno delle tecnologie in uso nell'automobile di Google (o meglio, Waymo, la sua divisione dedicata a questa ricerca) rispetto a quanto è stato pubblicato dalle stesse persone quando ancora lavoravano per la Stanford University, ma basandoci su tali pubblicazioni, su quanto diffuso dall'azienda stessa, e su quanto osservabile direttamente sui modelli messi a disposizione del pubblico a scopo dimostrativo possiamo avere una buona idea sullo stato dell'arte dell'IA dedicata al trasporto automatico.

Alla base della tecnologia delle auto che si guidano da sole si trovano i Lidar (dalla fusione delle parole inglesi "light" e "radar"), degli strumenti che emettono degli impulsi laser verso l'ambiente circostante e, per mezzo di sensori, ricevono quanto riflesso dagli oggetti nei dintorni. Con i dati ottenuti dai diversi lidar montati sulla carrozzeria (il modello di Google ne ha 64), il computer dell'auto costruisce un'immagine tridimensionale dell'ambiente in cui il veicolo si sta muovendo, incluse altre auto, moto, biciclette, pedoni, semafori, edifici, e così via, e calcola, secondo le istruzioni preparate dai programmatori, la migliore traiettoria da seguire e la velocità da tenere per proseguire verso la destinazione senza incidenti. L'accuratezza di questo sistema di rilevazione sembra avere raggiunto un livello di dettaglio tale che il sito di Google dichiara che la loro auto è in grado di percepire che un ciclista nelle vicinanze del veicolo ha sollevato un braccio per indicare le proprie intenzioni di marcia.

Poiché il software che accompagna il sistema contiene le debite istruzioni, l'auto che percepisce le intenzioni di un ciclista rallenterà per lasciargli spazio di manovra. Tutto a posto? Sì, *in quel caso*. Quanti altri casi, però, deve affrontare un guidatore per strada? Riuscireste a fare un elenco esaustivo di tutte le situazioni possibili che dovete gestire al volante e accompagnarle con le debite istruzioni perché tutti ne escano indenni e proseguano verso la propria destinazione? Si tratta di un'impresa tutt'altro che banale. Anche con i dati aggiuntivi provenienti da mappe precaricate nella memoria del computer (con tutte le indicazioni su incroci, semafori, precedenza, sensi unici, etc.) e con il supporto del sistema di posizionamento satellitare GPS, la lunghezza della lista della casistica non cambia, non ci sono scorciatoie o ottimizzazioni: l'ambiente in cui si muove un guidatore contiene un grande numero di oggetti e le varianti da affrontare sono difficilmente tutte prevedibili. Google può vantare 3 milioni di miglia di esperienza della sua flotta, grazie a guide sperimentali negli stati americani che hanno concesso tale possibilità all'azienda (la California dal 2009, il Texas dal 2015, l'Arizona e lo stato di Washington dal 2016). Tuttavia, non tutte queste miglia sono state guidate in maniera "autonoma" dalle auto della flotta: esistono dei momenti di "disengage" (disimpegno) in cui il pilota umano sull'auto deve prendere il controllo manuale del veicolo per gestire la situazione, imprevista o troppo complessa perché potesse essere gestita dal computer di bordo. Google dichiara che il costante miglioramento del loro software per opera dei suoi programmatori ha fatto sì che i momenti di disimpegno scendessero da 0,8 ogni 1000 miglia nel 2015 a 0,2 nel 2016 [30]. Sembrano cifre irrisorie, ma questo vuol dire che su 3 milioni di miglia percorse, l'intervento umano si è reso necessario più di un migliaio di volte. In altre parole,

ci sono state almeno 1000 occasioni in cui, se l'essere umano a bordo non fosse intervenuto, ci sarebbe stato un incidente.

Questo è probabilmente quello che è successo nell'incidente mortale con una Tesla menzionato nelle pagine precedenti. Se Google utilizza i suoi veicoli in maniera ancora sperimentale con i propri ricercatori al volante, la Tesla di Elon Musk ha già da qualche anno commercializzato un'automobile che offre un sistema di assistenza, chiamato "Autopilot", che può essere usato nelle situazioni più semplici di guida (tipicamente in autostrada, dove non ci sono incroci né semafori). L'incidente avvenne il 7 maggio 2016 su un'autostrada in Florida, quando un autotreno sterzò a sinistra di fronte a una Tesla che era in modalità "Autopilot" e che non frenò. L'unica persona presente sulla Tesla, il quarantenne Joshua Brown, morì nello scontro. In un primo rapporto dell'NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), si ipotizzò che il fianco di colore chiaro dell'autotreno non fosse stato notato né dal guidatore né dall'autopilota perché non presentava sufficiente contrasto contro un cielo molto luminoso in una giornata particolarmente assolata. Di lì a poco seguì una dichiarazione ufficiale della Tesla, secondo cui "Autopilot" deve essere manualmente attivato dal guidatore e ogni attivazione è accompagnata da un messaggio sonoro che raccomanda al guidatore di prestare sempre attenzione alla strada e di non lasciare mai la presa del volante. Inoltre, la tecnologia per la percezione dell'ambiente adottata sui veicoli Tesla, fornita dalla ditta israeliana Mobileye, è stata costruita per avvertire i guidatori del rischio di tamponamenti nel senso di marcia del veicolo, attivando anche una frenata nei casi di emergenza, mentre situazioni come quella dell'incidente, che coinvolgono veicoli che arrivano da lato, non sono gestite dal sistema informatico. Le indagini dell'NHTSA si sono concluse nel gennaio del 2017, con una piena assoluzione di Tesla, poiché le raccomandazioni d'uso di Autopilot sono sottoscritte da tutti i guidatori che acquistano un veicolo della casa automobilistica di Musk [31]. C'è però un precedente proprio legato alla vittima di questo incidente, un appassionato di automobili e in particolare della propria Tesla: Brown aveva pubblicato qualche mese prima sul social network Twitter un video in cui si vedeva la sua vettura in modalità Autopilot fare una rapida sterzata a destra per evitare uno scontro con un camion che proveniva da sinistra con una manovra di cambio corsia un po' azzardata. Il video aveva lo scopo di mettere in mostra quanto efficace fosse l'Autopilot della sua Tesla e, quando Musk stesso pubblicò sulla propria pagina Twitter un link al video di Brown, Brown dichiarò di essere al settimo cielo, come mostrato in un servizio del programma di notizie americano "Inside Edition" [32]. Vi invito a guardare il video, il cui indirizzo Web è nei riferimenti bibliografici, e prestare particolare attenzione a quanto succede a 1 minuto e 30 secondi, quando si vede la Tesla di Brown evitare il camion: Autopilot reagisce alla presenza del camion eseguendo le istruzioni per evitare i tamponamenti nel senso di marcia (funzionalità ufficialmente riconosciuta da Tesla come parte delle capacità del sistema), oppure, come sembra dal video, qualche altra operazione è entrata in gioco, come ad esempio una sterzata per evitare oggetti sulla strada? Un veicolo con Autopilot non è in grado di gestire inserimenti dai lati, eppure quanto successo potrebbe avere dato a Brown questa illusione, sicuramente rinforzata dall'approvazione da parte di Musk su Twitter. Ritengo sia

possibile che questo episodio abbia ulteriormente accresciuto la già grande fiducia di Brown in Autopilot, e abbia indotto il guidatore a comportamenti più a rischio, come ad esempio lasciare il volante e distrarsi lungo quel tragitto autostradale in Florida che gli fu fatale. Sono anche girate voci, riprese da alcuni testimoni nel video di "Inside Edition", che Brown stesse guardando un film su un lettore DVD portatile quando avvenne l'incidente, ma non sono state trovate prove a favore di questa tesi.

Questa fatalità è uno di numerosi casi di comportamento imprudente delle persone in presenza di sistemi altamente automatizzati: parliamo di "automation bias", ovvero di parzialità degli esseri umani nei confronti di tali sistemi, la cui affidabilità viene messa in discussione sempre più raramente.

5. Dove si trova il vero pericolo?

Permettami un esempio molto banale: siete a una cena con numerosi amici in un ristorante e, quando arriva il conto, decidete di pagare alla romana. Quanto fa 357 diviso 11? Un vostro amico fa i conti a mente e dice 34, mentre un altro, usando la calcolatrice del suo smartphone, dice 32,45. A chi credete? Naturalmente all'amico con la calcolatrice, ma vale la pena di chiedersi in base a quali considerazioni facciate questa scelta. Un essere umano è prone a errori di calcolo, mentre una calcolatrice o un computer non possono sbagliare: sono stati costruiti proprio per questo scopo, e i loro circuiti "incarnano" le leggi dell'aritmetica. In realtà c'è stato un caso clamoroso negli anni '90 del secolo scorso che ha ricordato che anche i circuiti elettronici all'interno dei computer sono, come tutti gli artefatti tecnologici, progettati e costruiti dagli esseri umani, gli stessi che fanno sbagli dopo una ricca cena con amici. Il professore di matematica Thomas Nicely del Lynchburg College in Virginia, notò nel giugno del 1994 che, una volta aggiunto un nuovo computer contenente il processore Pentium della americana Intel alla serie di macchine che stava usando per fare esperimenti sui numeri primi, il sistema informatico iniziò a dare risultati non coerenti con la teoria matematica. Nicely impiegò mesi a isolare i vari fattori che potessero essere la causa di questi errori, ma alla fine fu chiaro che essi non dipendessero da un errore nel programma scritto da lui: era proprio il processore dell'ultimo computer aggiunto al sistema a fare alcune divisioni in maniera errata [33]. Trattandosi di un difetto di progettazione in un punto specifico dei circuiti elettronici, solo le divisioni di particolari sequenze di cifre coinvolgevano la parte difettosa e quindi portavano a risultati errati. Intel dichiarò che l'utente medio avrebbe ricevuto risultati errati dal processore una volta ogni 27000 anni, mentre secondo i calcoli dell'IBM, allora produttrice di un processore in competizione con il Pentium, affermò che l'errore sarebbe avvenuto ogni 24 giorni di uso normale del computer. Sotto la pressione dell'opinione pubblica, nel dicembre del 1994 Intel richiamò i processori difettosi, con un danno aziendale stimato attorno ai 475 milioni di dollari di allora.

Che l'hardware costruito per eseguire calcoli contenga un difetto è un evento molto raro nella storia dell'informatica ma, come si è visto, non impossibile. Aggiungete a questo tipo di problema i ben più frequenti difetti del software,

ovvero il fatto che il sistema informatico, per sua natura deterministico, si possa trovare in una situazione non prevista dal suo codice, e che quindi si blocchi, smettendo di funzionare ed eventualmente mettendo a rischio la vita delle persone che si erano affidate a quel sistema. In più, abbiamo visto come certe persone imprudenti possano abituarsi all'uso di sistemi altamente automatizzati, a tal punto da abusarne, e aspettarsi che riescano a svolgere anche quelle operazioni per le quali non sono stati progettati. Che cosa hanno in comune tutte queste situazioni? Non dovete focalizzare la vostra attenzione sulla tecnologia informatica, ma allargare la visuale per vedere che tale tecnologia è concepita, costruita e usata da esseri umani all'interno di un contesto socio-politico-culturale spesso trascurato quando si parla di computer e IA. I futurologi che temono che i robot impareranno a usare le armi per sterminarci sembrano dimenticarsi del fatto che esistono multinazionali che assumono esperti in robotica e in programmazione per costruire sentinelle armate automatizzate. Gli imprenditori che sfruttano vuoti legislativi per mettere sul mercato automobili che montano un apparato estremamente sofisticato ma non perfetto di supporto alla guida sembrano ignorare l'esistenza di guidatori spericolati che, pur di acquisire notorietà sui social network, si riprendono mentre fanno finta di dormire sul sedile posteriore della loro auto con nessuno al volante [34].

Intere industrie, come quella dell'aviazione civile, continuano a insistere sull'incremento dell'automazione nei loro artefatti, anche se un numero sempre maggiore di esperimenti mostra come le prestazioni del personale umano diminuiscano di qualità con l'aumentare della presenza di sistemi informatici nelle loro attività. Perché assistiamo a questo fenomeno? Perché una diminuzione delle capacità umane viene considerata una conseguenza accettabile dell'innovazione tecnologica di un intero settore industriale? Si tratta di una questione di numeri: non dei numeri elaborati dal processore di un computer, ma di economia e statistica. La tecnologia dell'autopilota sugli aerei è arrivata a un tale livello di sviluppo che, mediamente in un volo, i piloti umani devono mantenere il controllo del velivolo solo per qualche minuto, al decollo e all'atterraggio. Questo vuol dire che è richiesto sempre meno ai piloti umani, ovvero è più facile addestrarli, e contemporaneamente si riescono a formare più piloti e ne servono sempre meno nella cabina di pilotaggio. 60 anni fa ogni volo era gestito da 5 professionisti ben pagati, mentre oggi in cabina ci sono solo due persone, il cui stipendio ha visto un continuo declino in questi ultimi anni. Le statistiche non mentono: è innegabile che ci siano meno incidenti aerei rispetto al passato. Essendoci meno spazio di manovra per le persone, le probabilità di un errore umano sono diminuite, naturalmente purché il sistema automatico che gestisce il velivolo non contenga difetti di hardware né di software. Tuttavia, emerge con chiarezza che, a causa della poca esperienza delle persone che si affidano all'automazione dell'aereo, gli incidenti mortali degli ultimi anni sono quasi tutti attribuibili a errori commessi dai piloti quando sono stati costretti a riprendere il controllo manuale in situazioni di emergenza, dove l'autopilota ha smesso di funzionare [35].

Ricapitoliamo: l'IA più avanzata non si basa su tecnologie diverse da quelle dell'informatica di base (si tratta pur sempre di circuiti elettronici deterministici)

ma piuttosto sull'ingegno di programmatori che riescono a modellare in termini matematici gli aspetti più disparati della realtà (spaziamo dalle autostrade alle comete) e di fisici e ingegneri che riescono a dotare i computer dei sensori e attuatori necessari a percepire e modificare l'ambiente circostante. Nonostante le previsioni azzardate di alcuni ricercatori che, confondendo l'automazione delle macchine con l'autonomia degli esseri umani, immaginano che per qualche principio a noi ancora sconosciuto le macchine possano un giorno prendere decisioni esattamente come oggi fanno gli esseri umani, al momento sono appunto solo le persone a decidere quali obiettivi perseguire per mezzo dei sistemi IA e a progettare e costruire tali sistemi. Gli esseri umani non sono perfetti, e non solo perché non riescono a eseguire i calcoli in maniera rapida e corretta in continuazione, ma anche e soprattutto perché possono costruire sistemi IA difettosi, oppure perfettamente funzionanti ma con obiettivi moralmente discutibili, oppure funzionanti e con obiettivi nobili, ma che rendono i loro utenti sempre meno qualificati nell'affrontare situazioni di emergenza, quando l'IA per qualche ragione accidentale o intrinseca viene meno ai suoi compiti.

Non inganniamoci, anche ben prima dell'avvento dell'IA l'uomo aveva già perso molte capacità di gestione delle situazioni senza l'aiuto della tecnologia: pensate a quanto è facile andare in un supermercato a comprare un pacco di pasta, e provate a immaginare di dover coltivare del grano per poter sfamare voi stessi e la vostra famiglia. Le tecnologie IA, però, hanno qualcosa di diverso dagli artefatti più tradizionali, perché, almeno nelle intenzioni dei loro progettisti, puntano a potenziare ed eventualmente sostituire quanto più ci caratterizza come esseri umani, ossia la nostra intelligenza, le nostre intenzioni, il nostro pensiero. Anche se i soliti futurologi non saranno d'accordo, ci sono delle immense lacune nella nostra conoscenza scientifica perché questa tanto paventata sostituzione possa avvenire: ad esempio, sappiamo ancora ben poco su come funzioni il nostro cervello, e ci illudiamo già di costruirne uno artificiale. Non è questo il problema: non temo che le generazioni future saranno schiavizzate dai robot. Tuttavia, la confusione tra automazione e autonomia è entrata a far parte del discorso sulla tecnologia, e sempre più spesso mi capita di sentire o leggere opinioni di esperti del campo che predispongono a un futuro molto pericoloso, in cui le responsabilità delle persone che fanno delle scelte interessate e impongono delle tecnologie discutibili si potrebbero disperdere nell'apparentemente eccessiva complessità dei nuovi sistemi IA che ci circonda.

6. Conclusione

Nonostante numerose promesse mancate, l'IA ha fatto passi da gigante in questi decenni che ci separano dai suoi albori. Gli straordinari risultati ottenuti in settori molto specifici, però, sono sempre più spesso oggetto di grossolane generalizzazioni e metafore fuorvianti. Giornalisti come l'americano Will Knight scrivono di una nuova versione del gioco "Minecraft" di Microsoft come di "*un'ottima occasione per gli esseri umani e l'IA di imparare a collaborare*" [36, traduzione mia]; filosofi come il giapponese Minao Kukita propongono di

ripensare il concetto di responsabilità di fronte a sistemi complessi come le future auto che si guideranno da sole, poiché *“sarebbe non solo inutile ma anche costoso cercare dei singoli individui da biasimare, quando un incidente è avvenuto principalmente per le azioni di un sistema autonomo artificiale complesso, o per le interazioni tra sistemi di questo genere”* [37, traduzione mia]; giuristi come l'americano Shawn Bayern costruiscono un parallelo tra il potere direttivo degli accordi legali sulle persone giuridiche e quello degli algoritmi sui sistemi “autonomi” dell'IA e ritengono che *“i sistemi autonomi possano finire per essere in grado di emulare molte parti del diritto privato che regola le persone giuridiche, per mezzo di un loro inserimento in una società a responsabilità limitata”* [38, traduzione mia]. Potrete in queste proposte notare una deriva verso un modo di pensare l'IA che non riflette la sua (reale) natura di software scritto da persone funzionante su hardware costruito da persone, ma cede al potere semplificatorio della metafora che mostra l'IA come un'entità a sé stante, indipendente dall'uomo.

Se c'è una raccomandazione che mi sento di fare è di non cedere a questa tentazione: per quanto complessi siano i sistemi IA, e per quanto sempre maggiore sarà il livello di tale complessità nel futuro, ricordatevi sempre che si tratta di artefatti costruiti da esseri umani con scopi molto precisi, e ci sarà sempre modo di poter risalire alle scelte fatte da tali persone per attribuire eventuali responsabilità in caso di incidenti. È fondamentale che questo legame tra le conseguenze di una tecnologia e le persone che l'hanno concepita, progettata, realizzata e dispiegata sia sempre evidente: la mia speranza è che possa fungere da deterrente e guida verso lo sviluppo di un'IA che sia davvero al servizio di tutti e non solo a beneficio di pochi.

Riquadro 1 – La ricerca in intelligenza artificiale

È tutt'altro che facile fornire una definizione omnicomprensiva dell'intelligenza artificiale a causa della vaghezza del termine “intelligenza”, difficile da circoscrivere anche solo nell'ambito delle scienze umane e naturali, che si rispecchia nella vastità del campo di ricerca di questa disciplina. Possiamo però riconoscere i seguenti settori di carattere molto generale.

Ragionamento automatico (automated reasoning): ha l'obiettivo di riprodurre, sotto forma di regole formali all'interno del software di un computer, i meccanismi del ragionamento umano. Sviluppatesi negli anni Cinquanta per iniziativa di ricercatori come John McCarthy del Massachusetts Institute of Technology, che coniò il termine “artificial intelligence” nel 1956, questa branca è l'ideale proseguimento degli sforzi di formalizzazione matematica del ragionamento iniziati dal filosofo Leibniz secoli prima [39].

Robotica (robotics): branca dell'intelligenza artificiale con l'obiettivo di creare macchine fisiche (robot) che, controllate da un apposito programma, siano in grado di svolgere compiti materiali nell'ambiente in cui sono inserite. Alcuni studiosi potrebbero obiettare a questa definizione di robotica come branca dell'intelligenza artificiale. In effetti, molto spesso ci imbattiamo nel nome “intelligenza artificiale e

e robotica”, come se si trattasse di due discipline correlate ma indipendenti. Ritengo questa divisione un risultato della storia dell'intelligenza artificiale, nata innanzitutto come attività focalizzata sul solo sviluppo di programmi. Non è comunque errato concedere alla robotica uno status disciplinare separato, per via dei numerosissimi problemi scientifici e ingegneristici imposti dall'uso delle periferiche fisiche che caratterizzano i robot.

Sistemi esperti (expert systems): nati negli anni Settanta e diffusi negli anni Ottanta, i sistemi esperti sono programmi che applicano le tecniche del ragionamento automatico a una base di dati riguardante un settore specifico della scienza e cultura umana che è stata creata raccogliendo, in maniera enciclopedica, tutto lo scibile tramite interviste agli esperti umani di tale settore. In particolare, gli sforzi della ricerca IA in questa branca si sono concentrati sulla medicina, con lo scopo di creare sistemi automatizzati di diagnosi.

Apprendimento automatico (machine learning): branca dell'IA che punta all'automatizzazione del riconoscimento e classificazione di pattern (situazioni o configurazioni ricorrenti). L'apprendimento automatico si contrappone al ragionamento automatico perché i suoi sistemi non si basano su formule che esprimono in maniera esplicita la conoscenza, bensì su funzioni matematiche (chiamate “neuroni artificiali”) organizzate in una struttura reticolare (denominata “rete neurale”) che elabora il dato in ingresso, una configurazione da riconoscere, fornendone la relativa classificazione come risultato. In generale, una rete deve essere opportunamente addestrata da un programmatore umano per essere in grado di riconoscere correttamente i pattern appartenenti a un dominio di interesse. Si veda il riquadro 2 per un approfondimento di questa sottodisciplina.

Riquadro 2 – L'apprendimento automatico

Il lavoro da cui si è sviluppata questa branca dell'IA risale al 1943, quando il neuroscienziato McCulloch e il logico Pitts proposero un modello matematico del neurone biologico sotto forma di funzione [40]. Tale modello di neurone è storicamente chiamato “neurone artificiale”, ma questa denominazione è molto fuorviante, perché si tratta di una funzione matematica, e non di un artefatto (come ad esempio il cuore artificiale o il rene artificiale) che possa sostituire un organo naturale. La funzione si comporta come segue (figura 1, in alto): riceve k diversi input binari ($I_1 \dots I_k$, di valore 0 oppure 1), ciascuno moltiplicato per un valore numerico chiamato “peso” w_k che caratterizza la connessione che “porta” tale input. Se la somma di tutti gli input moltiplicati per i rispettivi pesi supera una certa soglia s che caratterizza il neurone, allora esso spara, e quindi sia ha un 1 sull'output o , altrimenti non spara e si ha uno 0. Una rete neurale si costruisce collegando un certo numero di neuroni in una struttura reticolare (figura 1, in basso) dove si possono riconoscere diversi livelli (“layer” in inglese):

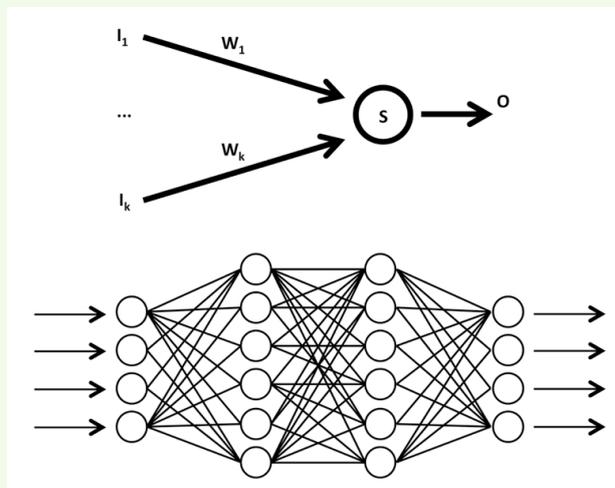


Figura 1
un neurone artificiale (sopra) e una rete neurale (sotto)

al livello di ingresso ci sono i neuroni che ricevono la configurazione in input (espressa sotto forma di una sequenza di valori binari), mentre al livello di uscita ci sono i neuroni che, sparando o meno, costruiscono il risultato in output che esprime, sempre in termini binari, la classificazione dell'input secondo la rete neurale. In mezzo ci sono i livelli nascosti ("hidden layer") che, con i loro pesi, contribuiscono al processo di elaborazione, senza però far parte dell'interfaccia tra la rete e il mondo esterno (di qui il loro nome). Di che tipo di configurazioni e classificazioni stiamo parlando? Vige la massima libertà e l'unica costrizione è la solita dei sistemi informatici: i dati elaborati devono essere espressi in termini binari di 0 e 1. Per fare un esempio, i dati in ingresso potrebbero essere delle immagini di animali, e la rete potrebbe essere configurata in modo tale da riconoscere immagini di gatti. La configurazione avviene per mezzo di un periodo di addestramento, in cui i pesi delle varie connessioni vengono modificati secondo specifici algoritmi quando la rete esegue una classificazione errata. L'addestramento si ritiene concluso quando la rete commette errori con una frequenza al di sotto di una soglia predeterminata. Google fa uso di reti neurali per il suo servizio di ricerca di immagini. Il vantaggio è ovvio: i suoi dipendenti umani non devono classificare manualmente tutte le immagini esistenti in rete, ma devono solo addestrare in maniera opportuna delle reti neurali e poi affidarsi a loro per una classificazione automatica.

Google ha ottenuto un risultato clamoroso con le reti neurali molto di recente, utilizzandole per creare un software chiamato AlphaGo in grado di giocare all'antico gioco cinese del Go, molto più difficile, in termini di complessità matematica, degli scacchi. Nel 2017 AlphaGo ha battuto ripetutamente i migliori giocatori umani di Go viventi, scrivendo un nuovo capitolo nei trionfi dell'IA. In questo caso, le reti neurali sono state utilizzate per classificare le situazioni di gioco e scegliere rapidamente la strategia migliore per arrivare a una configurazione finale vittoriosa. I tradizionali algoritmi IA di ricerca (quelli derivati dalle ricerche di ragionamento automatico) non si

potevano applicare in questo gioco proprio a causa della sua complessità, che avrebbe reso il software troppo lento e inefficiente. Le vittorie di AlphaGo hanno portato il termine “deep learning” sulla bocca di tutti, esperti e non esperti. Nel contesto delle reti neurali, l'apprendimento si dice “deep” quando la rete, come quella in figura 1, presenta più di un livello nascosto. A differenza dei software di ragionamento automatico, in cui tutta la conoscenza è espressa in maniera esplicita sotto forma di formule ed è elaborata secondo le regole della logica, il funzionamento di una rete neurale è molto più “misterioso”: la conoscenza del contesto acquisita in seguito alla fase di addestramento non è visibile ai programmatori umani se non nei termini numerici dei pesi sulle connessioni della rete. AlphaGo, quindi, sa giocare benissimo a Go, ma un'analisi delle funzioni matematiche che caratterizzano le sue reti neurali non permette ai suoi addestratori umani di risalire al segreto delle sue vittorie: AlphaGo funziona e basta. Non c'è da stupirsi, quindi, se molti, anche alcuni esperti del settore, hanno affermato che è nata davvero un'intelligenza artificiale. La tentazione di crederlo è forte, anche perché un discorso analogo può essere fatto rispetto al cervello umano: non sappiamo come funzioni eppure ci rende intelligenti. Non dimenticate, però, che AlphaGo è stato addestrato sulla base delle regole del Go scritte da programmatori umani e che se affidassimo ad AlphaGo un compito diverso dal gioco del Go non otterremmo nessun risultato.

Bibliografia

- [1] Future of Life Institute (2015). “Research priorities for robust and beneficial artificial intelligence”, futureoflife.org/ai-open-letter/ (ultimo accesso giugno 2017).
- [2] Itskov, D. (2016). “2045 Strategic Social Initiative”, 2045.com (ultimo accesso giugno 2017).
- [3] Minski, M. (2013). “Dr. Marvin Minsky – Facing the Future”, www.youtube.com/watch?v=w9sujY8Xjro (ultimo accesso giugno 2017).
- [4] Kurzweil, R. (2005). *The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology*, Penguin Books.
- [5] Barrat, J. (2013). *Our Final Invention: Artificial Intelligence and the End of the Human Era*, Thomas Dunne Books.
- [6] Ford, M. (2016). *The Rise of the Robots: Technology and the Threat of Mass Unemployment*, Oneworld Publications.
- [7] Storm, D. (2015). “Steve Wozniak on AI: Will we be pets or mere ants to be squashed our robot overlords?”, *Computerworld*, 25 marzo 2015, www.computerworld.com/article/2901679/steve-wozniak-on-ai-will-we-be-pets-or-mere-ants-to-be-squashed-our-robot-overlords.html (ultimo accesso giugno 2017).
- [8] Gaudin, S. (2015). “Stephen Hawking fears robots could take over in 100 years”, *Computerworld*, 14 maggio 2015, www.computerworld.com/article/

2922442/robotics/stephen-hawking-fears-robots-could-take-over-in-100-years.html (ultimo accesso giugno 2017).

[9] waymo.com (ultimo accesso giugno 2017).

[10] www.amazon.com/primeair/ (ultimo accesso giugno 2017).

[11] www.aidyia.com/company/ (ultimo accesso giugno 2017).

[12] Hevelke, A., Nida-Rümelin, J. (2015). "Responsibility for Crashes of Autonomous Vehicles: An Ethical Analysis", *Science and Engineering Ethics*, 21(3), 619-630.

[13] Heyns, C. (2013). "Report of the Special Rapporteur on Extrajudicial, Summary or Arbitrary Executions, Christof Heyns", United Nations Human Rights Council, sessione 23, 9 aprile 2013, www.ohchr.org/Documents/HRBodies/HRCouncil/RegularSession/Session23/A-HRC-23-47_en.pdf (ultimo accesso giugno 2017).

[14] Berkowitz, R. (2014). "Drones and the Question of «The Human»", *Ethics & International Affairs*, 28(2), 159-169.

[15] Metz, C. (2016). "The Rise of the Artificially Intelligent Hedge Fund", *Wired*, 25 gennaio 2016, www.wired.com/2016/01/the-rise-of-the-artificially-intelligent-hedge-fund/ (ultimo accesso giugno 2016).

[16] Omohundro, S. (2016). "Autonomous Technology and the Greater Human Good" in Müller, V. (a cura di) *Risks of Artificial Intelligence*, CRC Press, 9-27.

[17] Yampolskiy, R. V. (2016). "Utility Function Security in Artificially Intelligent Agents" in Müller, V. (a cura di) *Risks of Artificial Intelligence*, CRC Press, 115-140.

[18] Bostrom, N. (2014). *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*, Oxford University Press.

[19] steveomohundro.com (ultimo accesso giugno 2017).

[20] Ha, T. (2016). "Bill Gates says these are the two books we should all read to understand AI", *Quartz*, 3 giugno 2016, qz.com/698334/bill-gates-says-these-are-the-two-books-we-should-all-read-to-understand-ai/ (ultimo accesso giugno 2017).

[21] Dowd, M. (2017). "Elon Musk's Billion-Dollar Crusade to Stop the A.I. Apocalypse", *Vanity Fair*, aprile 2017, www.vanityfair.com/news/2017/03/elon-musk-billion-dollar-crusade-to-stop-ai-space-x (ultimo accesso giugno 2017).

[22] Greenemeier, L. (2016). "Deadly Tesla Crash Exposes Confusion over Automated Driving", *Scientific American*, 8 luglio 2016, www.scientificamerican.com/article/deadly-tesla-crash-exposes-confusion-over-automated-driving/ (ultimo accesso giugno 2017).

[23] Von Neumann, J. (1945). "First Draft of a Report on the EDVAC", rapporto tecnico, University of Pennsylvania.

[24] Verdicchio, M. (2016). *L'Informatica per la Comunicazione*, 2° edizione, Franco Angeli.

- [25] Maes, P. (1994). "Modeling adaptive autonomous agents", *Artificial Life Journal*, 1(1-2), 135-162.
- [26] Wooldridge, M., Jennings N. R. (1995). "Agent theories, architectures, and languages: A survey" in Wooldridge, M. e Jennings, N. R. (a cura di) *Intelligent agents*, Springer, 1-22.
- [27] Taylor, M. G. G. T., Altobelli, N., Buratti, B. J., Choukroun, M. (2017). "The Rosetta mission orbiter science overview: the comet phase", *Philosophical Transaction of the Royal Society A*, 375, dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0262 (ultimo accesso giugno 2017).
- [28] Chien, S. (2016). "Artificial Intelligence Support of Rosetta Orbiter Science Operations", www.youtube.com/watch?v=wcwW7dKI76g (ultimo accesso giugno 2017).
- [29] Welsh, S. (2017). "Clarifying the Language of Lethal Autonomy in Military Robots" in Aldinhas Ferreira, M. I., Silva Sequeira, J., Tokhi, M. O., Kadar, E., Virk, G. S. (a cura di) *A World with Robots*, Springer, 171-183.
- [30] waymo.com/ontheroad/ (ultimo accesso giugno 2017).
- [31] Boudette, N. E. (2017). "Tesla's Self-Driving System Cleared in Deadly Crash", *The New York Times*, 19 gennaio 2017, www.nytimes.com/2017/01/19/business/tesla-model-s-autopilot-fatal-crash.html (ultimo accesso giugno 2017).
- [32] Inside Edition (2016). "Man Died Watching 'Harry Potter' When Self-Driving Tesla Crashed: Witness", 5 luglio 2016, www.youtube.com/watch?v=TSN3gDUNpXQ&t=3s (ultimo accesso giugno 2017).
- [33] Cipra, B. (1995). "How Number Theory Got the Best of the Pentium Chip", *Science*, 267(5195), 175.
- [34] Inside Edition (2016). "See Motorists Play, Read and Relax In Self-Driving Cars As Second Tesla Crashes", 6 luglio 2016, www.youtube.com/watch?v=qnZHRupj5E (ultimo accesso giugno 2017).
- [35] Carr, N. (2014). *The Glass Cage: Automation and Us*, W. W. Norton & Company.
- [36] Knight, W. (2016). "Minecraft Is a Testing Ground for Human-AI Collaboration", *MIT Technology Review*, 21 luglio 2016, www.technologyreview.com/s/601923/minecraft-is-a-testing-ground-for-human-ai-collaboration/ (ultimo accesso giugno 2017).
- [37] Kukita, M. (2017). "When HAL Kills, Stop Asking Who's to Blame", *CEPE/ETHICOMP 2017*, easychair.org/smart-program/CEPEETHICOMP2017/2017-06-05.html (ultimo accesso giugno 2017).
- [38] Bayern, S. (2016). "The Implications of Modern Business-Entity Law for the Regulation of Autonomous Systems", *European Journal of Risk Regulation*, 7(2), 297-309.
- [39] Dascal, M. (1987). "Leibniz. Language, Signs and Thought: A collection of essays", John Benjamins Publishing Company.

[40] McCulloch, W., Pitts, W. (1943). "A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity", Bulletin of Mathematical Biophysics, 5(4), 115-133.

Biografia

Mario Verdicchio è nato a Milano nel 1975. Nel 2004 ha conseguito il dottorato di ricerca in ingegneria dell'informazione presso il Politecnico di Milano, dove ha lavorato nel gruppo di Intelligenza Artificiale e Robotica, per poi diventare ricercatore presso la Scuola di Ingegneria dell'Università degli Studi di Bergamo, lavorando su temi di etica delle tecnologie in collaborazione con la University of Virginia (USA) e arte computazionale con l'Universidade do Porto (Portogallo) e la University of the West of Scotland (Regno Unito), dove attualmente è lettore presso la School of Media, Culture and Society.

Email: Mario.Verdicchio@uws.ac.uk

La teoria degli insiemi fuzzy:

idee di base, utilizzi ed eredità a 50 anni dalla nascita

Davide Ciucci

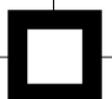
Sommario

Questo articolo presenta un'introduzione agli insiemi fuzzy e offre una panoramica della loro teoria ad oltre cinquant'anni dalla loro introduzione, avvenuta nel 1965 ad opera di Lotfi Zadeh. Oltre ai concetti di base, vengo dati alcuni cenni storici sul contesto in cui si sono sviluppati e alle discipline a cui hanno contribuito, per poi illustrarne i principali successi. Infine, il ruolo degli insiemi fuzzy nella gestione dell'incertezza viene esaminato e l'eredità che lasciano in diversi settori messa in luce.

Abstract

This paper introduces fuzzy sets and offers an overview of their theory after more than fifty years since their appearance, occurred in 1965 due to Lotfi Zadeh. Besides the basic notions, some hints on the historical context in which they developed and the disciplines they have contributed to are put forward. Then, the major successes are illustrated. Finally, the role of fuzzy sets in uncertainty management is examined and their legacy in several disciplines is highlighted.

Keywords: fuzzy set; membership degree; uncertainty; control theory; possibility theory; many-valued logic; clustering.



1. Introduzione ed idee di base

Un'altezza di un metro e settanta fa di me una persona alta?

Cercando il termine *fuzzy* nel dizionario Collins, si trovano come possibili traduzioni i termini crespo (riferito ai capelli), confuso, indistinto, sfuocato. Nel caso degli insiemi, sfuocato e sfumato sono le traduzioni più utilizzate e stanno ad indicare un insieme dai contorni non ben definiti.¹ Per dirlo con le parole del suo ideatore, Lotfi Zadeh, un insieme fuzzy è “una classe di oggetti con un continuo di gradi di appartenenza” [1] o in altri termini, una “classe che esprime il fatto che alcuni oggetti sono più nella classe di altri” [2]. L'idea di base è quindi quella di poter rappresentare le situazioni in cui non tutti gli elementi di un insieme vi appartengono allo stesso modo. Si pensi all'insieme delle persone alte: c'è chi è sicuramente alto e quindi appartiene senza dubbi all'insieme, chi sicuramente è basso e quindi non appartiene all'insieme e poi una fascia intermedia che a diversi gradi può essere considerata come un elemento delle persone alte.

Dal punto di vista formale viene spesso rappresentato tramite i gradi di appartenenza (*membership degree*), ovvero ad ogni elemento dell'insieme viene associato un valore tra 0 e 1 che indica *quanto* appartenga all'insieme.² Sebbene corretta, questa visione è parziale e potenzialmente fuorviante. Parziale perché i valori nell'intervallo [0,1] sono una scelta arbitraria, dato che molte altre soluzioni sarebbero altrettanto valide.³ Ad esempio, in alcuni contesti potrebbe avere maggior significato l'insieme di valori {molto poco, poco, abbastanza, molto, assolutamente}. Fuorviante perché dimentica il significato e le proprietà del grado di appartenenza, causa questo della diatriba – si spera ora risolta – con gli studiosi di probabilità, data la sua presunta sovrapposizione con la probabilità di un evento, anch'essa espressa tramite un valore tra 0 e 1.⁴ Ritorneremo nel dettaglio su questo punto più avanti, limitandoci ora a sottolineare come non basti assegnare un valore in [0,1] per attribuire a qualcosa l'etichetta “fuzzy”, è necessario dare un'adeguata interpretazione e delle operazioni corrispondenti all'idea di insieme sfumato che si vuole rappresentare.

¹ In italiano, tuttavia, il termine non viene quasi mai tradotto, preferendo il termine inglese originale. Al contrario in francese, non è raro trovare la traduzione *ensemble flou* o in spagnolo *conjunto difuso*.

² Formalmente un insieme fuzzy A sull'universo X viene rappresentato da una funzione. $f_A : X \rightarrow [0,1]$ dove $f_A(x)$ esprime il grado di appartenenza di x all'insieme A.

³ L'insieme [0,1] può infatti essere sostituito da un qualsiasi insieme parzialmente ordinato. Si ricorda che un insieme è parzialmente ordinato se dotato di una relazione riflessiva, anti-simmetrica e transitiva. Sono ad esempio relazioni d'ordine, il normale ordinamento tra numeri (in questo caso l'ordine è totale) e l'essere sottoinsieme tra due insiemi.

⁴ Una distribuzione di probabilità è infatti una funzione $p : X \rightarrow [0,1]$.

1.1 Cenni storici sulla nascita degli insiemi fuzzy e delle discipline correlate

Storicamente la nascita della teoria dei fuzzy set ha una data precisa: il 1965, anno di pubblicazione da parte di Lotfi Zadeh dell'articolo fondante la disciplina e dal titolo appunto "Fuzzy Sets" [1]. Tuttavia, le idee contenute in questo primo lavoro non rappresentano uno "strano, gratuito oggetto che improvvisamente è apparso dal nulla" ma piuttosto "una cristallizzazione di intuizioni di alcuni eminenti scienziati del secolo" [3]. Il problema di rappresentare qualche forma di vaghezza, è infatti emerso a metà del '900 in diverse discipline, quali logica, linguistica, fisica e matematica. Importanti, anche per gli sviluppi successivi della teoria dei fuzzy set, sono stati i primi tentativi negli anni '30 di proporre una logica con tre valori di verità (al posto della classica dicotomia vero/falso) da parte di Jan Łukasiewicz. Approcci molto simili a quello sviluppato da Zadeh e basato su funzioni, si trovano tra gli anni quaranta e cinquanta in diversi autori: Weyl, Kaplan e Scott, Menger. Quest'ultimo sembra essere stato il primo ad utilizzare il termine *ensemble flou* (attualmente l'equivalente francese di fuzzy set), in un suo articolo del 1951 e da lui tradotto in inglese come *hazy* (nebuloso, sfocato) *set* [3]. A differenza di Zadeh, però l'interpretazione del grado di appartenenza ad un insieme è quella di probabilità e non è del tutto chiaro cosa rappresenti questa probabilità.

Una volta introdotto da Zadeh, il nuovo concetto è poi stato applicato a diversi campi, facendo nascere nuove discipline. Senza ombra di dubbio l'influenza principale degli insiemi fuzzy è stata in teoria del controllo: già dagli anni '70 sono apparsi i primi contributi nel settore, per poi assistere negli anni '80 alle prime applicazioni industriali [4]. Oggigiorno, i sistemi di controllo fuzzy sono in moltissimi dispositivi di uso quotidiano: macchine fotografiche, forni, lavatrici, etc... tanto è vero che il termine è diventato di uso comune e spesso, infatti, nelle descrizioni di questi prodotti si trovano riferimenti alla "logica fuzzy". Il termine logica è da intendersi in questo caso in senso ampio, in opposizione alla cosiddetta logica fuzzy in senso stretto o logica matematica fuzzy. L'avvento degli insiemi fuzzy è stato infatti di grande impulso per lo sviluppo matematico delle cosiddette logiche multi-valore. Analogamente all'idea di insieme graduale, le logiche multi-valore non considerano solo il vero o falso come valori di verità, ma ne introducono altri. Dal caso più semplice in cui si aggiunge il "non so" fino ad infiniti valori tra 0 e 1.

Altre due discipline emerse grazie agli insiemi fuzzy e alle idee di Zadeh sono la teoria della possibilità e negli ultimi anni la *granular computing*. L'utilizzo dei gradi di appartenenza per definire una distribuzione di possibilità è stato suggerito da Zadeh stesso in [5], lavoro in cui vengono anche presentati i mattoni costituenti della teoria, che è stata in seguito sviluppata da Dubois e Prade [6]. Inizialmente, la teoria della possibilità fu pensata per dare una semantica graduale a frasi del linguaggio naturale, come ad esempio "Tizio è giovane", "Caio può saltare x cm in alto", assegnando loro un valore di possibilità. In seguito, se ne è esteso l'utilizzo per rappresentare credenze, preferenze o per ragionare con probabilità imprecise e, ad oggi, numerose sono le sue applicazioni nel campo dell'intelligenza artificiale.

Anche il termine granular computing è stato introdotto da Zadeh nel 1979 [7]. Come dice il nome è la disciplina che si occupa di rappresentare e processare l'informazione sotto forma di qualche tipo di aggregato, generalmente chiamato granulo di informazione, risultato di un processo di astrazione o estrazione di conoscenza dai dati. Un granulo è quindi un insieme di dati raggruppati in base alla loro similarità, vicinanza fisica, coerenza e così via. Ad esempio, considerando le opere di un museo, possiamo considerare come granuli l'insieme dei quadri impressionisti, oppure l'insieme delle opere in una determinata stanza o ancora quelle a prevalenza di colore blu. Ovviamente esistono diversi livelli di astrazione e quindi di granularità. Ad esempio, possiamo considerare un libro come composto da capitoli, ad un livello più fine da sotto-capitoli, poi da paragrafi, etc. Ad oggi, la granular computing sta emergendo come un settore a sé stante che interseca e raggruppa diverse discipline, tra cui, ovviamente, gli insiemi fuzzy.

1.2 Concetti alla base della teoria degli insiemi fuzzy

Diamo ora uno sguardo più da vicino agli elementi base della teoria degli insiemi fuzzy: funzione di appartenenza, operazioni insiemistiche e il principio di estensione.

Funzione di appartenenza

Abbiamo visto che un oggetto appartiene ad un insieme fuzzy con un grado di appartenenza, generalmente espresso da un valore tra 0 e 1. Il concetto di *membership degree* è quindi alla base di tutta la teoria ed è definito dalla funzione di appartenenza $f: X \rightarrow [0,1]$, generalizzazione della funzione caratteristica di un insieme classico (in questo contesto detto anche booleano, esatto o *crisp*) $A: X \rightarrow \{0,1\}$. Ovviamente $f(x) = 1$ significa totale appartenenza all'insieme, mentre $f(x) = 0$ totale non-appartenenza all'insieme. Consideriamo come esempio di voler rappresentare l'insieme delle Persone Alte. Classicamente dovremmo dare una soglia, ad esempio un metro e settanta centimetri, al di sopra della quale collochiamo le persone alte. Nel caso fuzzy, invece possiamo agire come in Figura 1, dove, ad esempio, il grado di appartenenza all'insieme delle Persone Alte corrispondente a 160 cm è $1/3$, mentre a 180 cm è 1. Ovviamente la definizione di un insieme fuzzy riguardante l'altezza è associata ad un preciso contesto: nel corso degli anni e a seconda della popolazione di riferimento il concetto può cambiare. Inoltre, ribadiamo che la scelta dell'intervallo $[0,1]$ è una convenzione arbitraria, altri insiemi possono essere utilizzati. L'importante nella definizione è che non esiste una soglia al di sopra della quale si è alti e al di sotto bassi, ma c'è una gradualità, un continuo di sfumature. Ciò che conta non è tanto l'esatto valore di $f(x)$, non sempre facile da ottenere, quanto l'ordine relativo dei diversi oggetti.

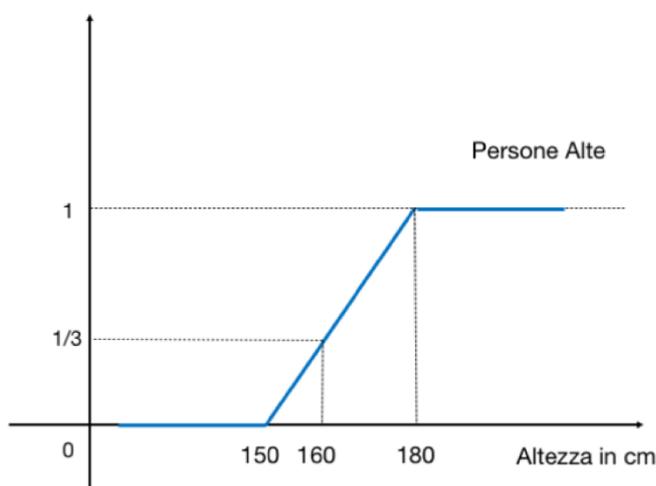


Figura 1
Insieme Fuzzy delle Persone Alte

Principio di estensione

Abbiamo ora definito un nuovo concetto di insieme. Come possiamo estendere le operazioni insiemistiche (intersezione, unione, complemento) o altre funzioni matematiche in modo da poter agire su insiemi fuzzy? Zadeh introdusse il principio di estensione che permette di generalizzare una qualsiasi funzione G da insiemi classici ad insiemi fuzzy. Ad esempio, si consideri un'ipotetica funzione G che data l'altezza di una persona, restituisce il suo numero di scarpe. Il principio di estensione permette di definire un insieme fuzzy sul numero di scarpe a partire dall'insieme delle Persone Alte, che, data la corrispondenza che esiste in media tra altezza e dimensioni dei piedi, potremmo chiamare insieme delle Scarpe (o Piedi) Grandi.

Per una definizione formale del principio di estensione si veda l'apposito riquadro.

Operazioni insiemistiche

La definizione delle operazioni insiemistiche viene data con il metodo punto a punto (*pointwise*), ovvero fissando un elemento ed utilizzando solo il suo grado di appartenenza (non quello di altri elementi) agli insiemi fuzzy coinvolti. L'operazione standard che viene fatta corrispondere all'intersezione è solitamente il minimo dei gradi di appartenenza agli insiemi fuzzy coinvolti ed il massimo per quanto riguarda l'unione (si veda il riquadro 1). Il complemento, invece, viene spesso definito, per un insieme fuzzy f e un oggetto x , come $1-f(x)$.

Ad esempio, facendo riferimento all'insieme delle Persone Alte, una persona alta 160 cm appartiene all'insieme delle Persone Non Alte con valore $2/3$.

Notiamo tuttavia che questo è solo uno dei molti modi di poter definire intersezione ed unione come estensione delle classiche operazioni insiemistiche. Zadeh stesso nell'articolo del '65 ne definì diverse e nel seguito molte altre ne sono state aggiunte. Una famiglia spesso utilizzata è quella delle norme e co-norme triangolari, operazioni definite per via assiomatica in modo da soddisfare alcune richieste minime.

Infine, dati due insiemi fuzzy f e g quando possiamo dire che uno è sottoinsieme (fuzzy) dell'altro (e scriviamo $f \subseteq g$)? Anche in questo caso si utilizza una estensione punto a punto del concetto Booleano, come specificato nel riquadro 1, dove ogni elemento deve avere grado di appartenenza a f minore di quello a g . Come esempio possiamo considerare le Persone Molto Alte, che sicuramente sono un insieme "più piccolo" delle persone alte. In Figura 2, notiamo infatti che la curva delle Persone Molte Alte è sempre al di sotto di quella delle Persone Alte: dato un soggetto di 180 cm appartiene sicuramente (cioè con valore 1) all'insieme delle Persone Alte, ma non pienamente a quello delle Persone Molto Alte.

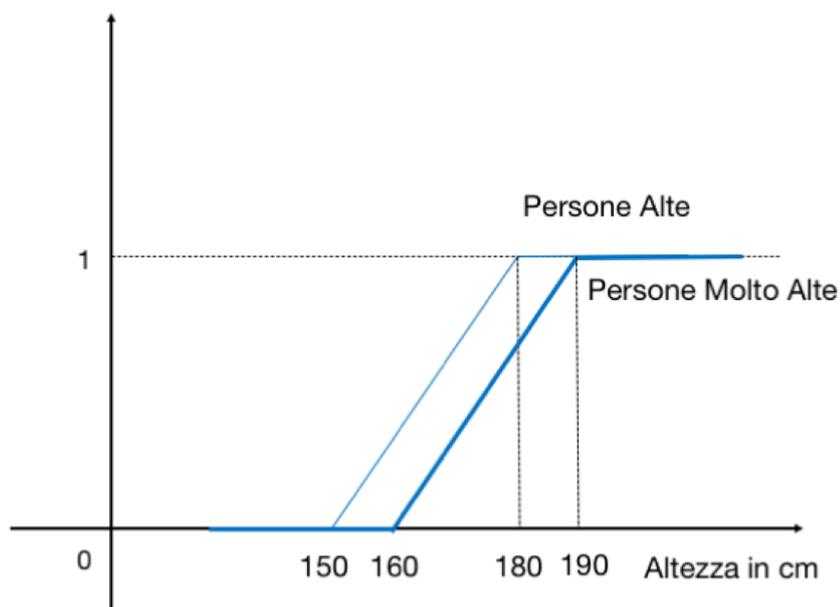


Figura 2
Insieme delle persone Molto Alte

2. Fuzziness nel contesto dell'informazione incerta

Un bicchiere mezzo pieno non è un bicchiere pieno con probabilità un mezzo.

Nell'introduzione abbiamo utilizzato il grado di appartenenza per definire un insieme fuzzy. Vogliamo ora analizzare quali interpretazioni può assumere questo valore ed il suo rapporto con la teoria della probabilità.

2.1 Interpretazione di un insieme fuzzy

Si considerino queste tre frasi:

1. Tizio è quasi calvo
2. Tizio è quasi certamente calvo
3. A Maria piacciono gli uomini calvi.

Nel primo caso, *quasi* esprime una vicinanza alta ma non totale all'idea di uomo calvo. Nel secondo caso *quasi* è riferito a "certamente", si tratta quindi di un'incertezza sul fatto che Tizio sia o meno calvo. Infine, nell'ultimo caso stiamo esprimendo una preferenza di Maria all'interno dell'insieme uomini calvi. Queste tre situazioni sono esemplificative delle possibili interpretazioni di un grado di appartenenza, rispettivamente come similarità, incertezza o preferenza [8].

L'utilizzo del grado di appartenenza come similarità sottintende l'idea che ci siano elementi tipici di un determinato insieme (gli uomini calvi), altri che sicuramente non vi appartengono e una gradualità di sfumature per i rimanenti. Strettamente connesso a questa interpretazione, è il concetto di distanza, utile per determinare il grado di vicinanza agli elementi tipici e quindi di appartenenza all'insieme. Ad esempio, se stiamo parlando di automobili grandi, possiamo considerare un modello di Volvo come elemento tipico di questa categoria e vedere quanto le altre vetture vi si discostino. Questa interpretazione la si incontra nelle principali applicazioni degli insiemi fuzzy.

Nella seconda interpretazione, la funzione di appartenenza viene utilizzata per dotare di un grado d'incertezza relativa ad un qualche fatto, nel nostro esempio l'idea di "certamente calvo". Siamo infatti in presenza di un fatto già incerto: l'espressione "certamente calvi" sottintende la possibilità che altri siano calvi ma non con certezza. Gli insiemi fuzzy in questo contesto coincidono con le cosiddette distribuzioni di possibilità, alla base della già menzionata teoria della possibilità.

Infine, l'idea di preferenza: il grado di appartenenza di un individuo all'insieme degli uomini calvi esprime in questo caso una preferenza di Maria. Questa interpretazione trova il suo principale utilizzo in teoria delle decisioni, dove appunto è necessario esprimere delle preferenze (graduali) rispetto a determinati criteri, ed ha favorito lo sviluppo di un'ampia letteratura, in particolare sulle modalità di aggregare diversi insiemi fuzzy (e quindi diverse preferenze).

2.2 Fuzzy set vs teoria della probabilità

Dalla discussione precedente dovrebbe essere chiaro che un grado di appartenenza non rappresenta una probabilità. Per riassumere la differenza con uno slogan, si è soliti dire che “Un bicchiere mezzo pieno non è un bicchiere pieno con probabilità un mezzo”. C’è quindi una differenza di interpretazione tra funzione di appartenenza e distribuzione di probabilità, sebbene entrambe siano funzioni a valori in $[0,1]$. Questa differenza si riflette anche nelle diverse proprietà che le due funzioni devono avere. Nel caso della probabilità, la somma di tutti i casi possibili deve dare uno (se lancio una moneta, al 100% uscirà testa o croce), nel caso fuzzy invece questo non è richiesto. Le due teorie sono quindi distinte e complementari: trattano due aspetti differenti dell’incertezza che non sono in competizione tra loro. C’è voluto molto per arrivare a questa visione, spesso ancora non compresa, sia dai detrattori degli insiemi fuzzy sia da chi utilizza il termine fuzzy attribuendogli significati e proprietà tipici della probabilità. Ad arrivare a questo risultato è sicuramente stato utile il dibattito del 1995 tra studiosi di probabilità e di teoria degli insiemi fuzzy apparso sulla rivista *Technometrics*, a cui si rimanda per una trattazione più approfondita delle diverse posizioni [9].

Le cose si complicano ulteriormente, se prendiamo in considerazione l’utilizzo degli insiemi fuzzy in teoria della possibilità. Da un lato perché le terminologie si avvicinano: possibilità vs probabilità e distribuzione di possibilità vs distribuzione di probabilità. Dall’altro perché in effetti, ci sono punti di contatto tra le due teorie anche dal punto di vista matematico.⁵ Questo contrasta con le interpretazioni di cui si è parlato, ma apre alla possibilità di utilizzare le funzioni di appartenenza per rappresentare l’informazione incompleta in statistica [2]. Anche in questo caso si ha quindi una complementarità delle due teorie con la possibilità di utilizzarle assieme per rappresentare forme più complesse di incertezza.

3. Il successo: i sistemi di controllo ed il clustering

“La teoria fuzzy è errata, errata e pernicioso [...] La logica fuzzy è la cocaina della scienza.” William Kahan, 1972

Il successo degli insiemi fuzzy è oggi indubbio, nonostante i detrattori dei primi anni. Famoso è il dibattito scaturito da un intervento molto critico di Charles Elkan alla undicesima conferenza americana sull’intelligenza artificiale a cui è stato dedicato un numero speciale di *IEEE Expert* nel 1994 [10], successivamente ripreso nel 2001 in alcuni interventi su *International Journal of Approximate Reasoning* [11]. Altrettanto *tranchant* sono state le dichiarazioni di alcuni “avversari”. Oltre alla citazione in apertura di paragrafo, ne ricordiamo altre due spesso menzionate:

- “La fuzzificazione è una specie di permissivismo scientifico. Tende a portare a slogan socialmente accattivanti, non accompagnati dalla

⁵ Infatti, le misure di necessità della teoria della possibilità sono un caso speciale di funzioni di probabilità dal basso.

disciplina di un duro lavoro scientifico e dalla paziente osservazione” (Rudolf Kalman, 1972);

- “La *fuzziness* è un travestimento della probabilità. Potrei disegnare un sistema di controllo basato sulla probabilità capace di fare le stesse cose che voi potete fare con la logica *fuzzy*” (Myron Tribus, 1988).

I fatti hanno poi smentito queste critiche e tra le numerose applicazioni degli insiemi fuzzy, ritroviamo ad esempio: i sistemi di controllo, il clustering, l'analisi dei dati, l'ottimizzazione, l'elaborazione di immagini, la ricerca operativa, *l'information retrieval*, etc...

A testimonianza del successo non solo accademico, basti pensare a quello industriale con oltre 50.000 brevetti depositati [12] ed al fatto che il termine fuzzy sia entrato nel linguaggio comune: dalle lavatrici con “fuzzy logic”, ai titoli di romanzi [13] o al nome di circoli ricreativi [14].

Diamo ora qualche dettaglio sulle due applicazioni più diffuse: i sistemi di controllo ed il clustering.

3.1 Sistemi di controllo

Il successo principale e assolutamente non previsto degli insiemi fuzzy è sicuramente nei sistemi di controllo fuzzy. Gli insiemi fuzzy sono risultati utili per rappresentare in modo semplice ed intuitivo concetti vaghi come caldo, freddo, veloce. Un sistema di controllo fuzzy è basato su regole ed è costituito da tre fasi: fuzzificazione, inferenza e de-fuzzificazione. La prima consiste nel generare gli insiemi fuzzy necessari, come *Persone Alte* in Figura 1. Poi si applicano delle regole, solitamente fornite da un esperto in forma intuitiva, ad esempio: “SE la temperatura è alta ALLORA aumenta la velocità del condizionatore”. Infine, l'insieme fuzzy risultante viene tradotto in una opportuna quantità fisica, in modo da agire sul sistema da controllare. Nell'esempio precedente, stabilito che va aumentata la velocità del condizionatore, occorre stabilire quanto va aumentata e tradurlo quindi in un comando operativo. Questo tipo di controllori sono stati introdotti per la prima volta nel 1975 da Mamdani [15] e hanno visto le prime applicazioni industriali negli anni '80, riscontrando un enorme successo inizialmente in Giappone per poi estendersi a Stati Uniti ed Europa. Di questo tipo di controllo fuzzy, ne ha parlato diffusamente Andrea Bonarini su questa stessa rivista (si veda [16]) a cui rimandiamo per una trattazione approfondita.

Nel seguito il controllo fuzzy è cambiato, allontanandosi dalla sua originalità e vicinanza con le idee di Zadeh, per andare incontro alla teoria del controllo più tradizionale. Le regole sono state modificate, diventando più complesse e meno intuitive e dando la possibilità di applicare tecniche standard di teoria del controllo ai sistemi fuzzy. Negli sviluppi recenti, quindi, si può dire che “il termine fuzzy perde parte del suo interesse storico”, lasciando incerti gli sviluppi stessi del controllo fuzzy [4].

3.2 Clustering

Obiettivo del clustering è raggruppare elementi simili tra loro o simili ad uno o più elementi centrali, in modo che i diversi gruppi siano il più possibile omogenei al loro interno e allo stesso tempo diversi tra loro. È quindi uno dei

metodi utilizzati nella *granular computing* per definire i “granuli” base di conoscenza. Nella variante fuzzy, i diversi gruppi non sono separati tra loro ma possono essere sovrapposti. Quindi, un oggetto può appartenere a gruppi diversi, con un determinato grado di appartenenza. Si ottiene quindi una cosiddetta partizione fuzzy, generalizzazione della classica nozione di partizione di un insieme.

Nella versione originale del fuzzy clustering, è presente il vincolo che i diversi gradi di appartenenza di un elemento sommino a uno, come se fosse una probabilità e quindi non proprio fedele allo spirito degli insiemi fuzzy. Sono state poi introdotte versioni successive in cui questo vincolo viene rilassato.

Il grosso vantaggio del fuzzy clustering è che permette di migliorare alcuni aspetti algoritmici della versione classica, primo fra tutti il fatto che il risultato non dipenda fortemente dalla fase di inizializzazione.⁶ Inoltre, sebbene erediti dalla versione classica la caratteristica di non garantire la migliore soluzione possibile ha il pregio di evitare quelle peggiori.⁷ Questo permette di utilizzarlo in modo proficuo anche nei casi in cui si sia interessati ad un risultato “classico” senza sovrapposizione tra i diversi gruppi.

4. Conclusione: attualità e futuro degli insiemi fuzzy

Dopo oltre cinquant'anni, possiamo dire che il nucleo della teoria degli insiemi fuzzy sembra essere ormai stabile, ampiamente studiato e con concetti ben consolidati, senza che si sia assistito a grossi cambiamenti negli ultimi anni. Come evidenziato in questo contributo, gli utilizzi degli insiemi fuzzy sono molteplici e coinvolgono diversi settori. In particolare, assodato e proficuo è l'impiego in teoria del controllo ma l'utilizzo è accettato anche in molte altre discipline, menzionate nel paragrafo 3. In altre invece, si devono ancora diffondere e ci sono le possibilità perché questo avvenga in modo proficuo. Un esempio è l'apprendimento automatico (*machine learning*), in cui il contributo principale sarebbe la gestione dell'incertezza in modo diverso e complementare alla teoria della probabilità tramite un utilizzo degli insiemi fuzzy intesi come distribuzioni di possibilità [17]. D'altro conto va stigmatizzata la tendenza a voler fuzzificare tutto, sia in contesti matematici che applicativi. In campo teorico, si è assistito, infatti, negli ultimi anni ad un proliferare di approcci sempre più complessi e la tendenza a rendere fuzzy qualsiasi concetto matematico senza alcuno scopo preciso. Nelle applicazioni, invece, capita che venga etichettato come “fuzzy” un qualsiasi valore tra zero e uno, senza considerarne la sua reale interpretazione e la sua vicinanza o meno al resto della teoria. Infine, sottolineiamo ancora una volta, che la ricchezza della teoria degli insiemi fuzzy è anche nell'eredità che lascia in molte altre discipline, in cui sviluppi futuri sono possibili ed auspicabili: la teoria delle possibilità, le logiche multi-valore, la granular computing.

⁶ Come avviene ad esempio con il metodo *k-means*, lo standard *de facto*, che richiede di stabilire a priori il numero di gruppi in cui si vogliono dividere gli oggetti.

⁷ Come molti algoritmi di ottimizzazione trova soluzioni sub-ottimali, i cosiddetti minimi locali ma rispetto al metodo tradizionale, evita i minimi locali peggiori.

Riquadro 1 - Il principio di estensione

Sia G una funzione da un insieme classico X ad un altro Z , ovvero, $G: X \rightarrow Z$ ed $f: X \rightarrow [0,1]$ un insieme fuzzy su X . L'obiettivo è estendere la funzione G in modo che possa agire su insiemi fuzzy, ottenendo quindi in input l'insieme f e restituendo un insieme fuzzy su Z . Formalmente con $\hat{G}(f): Z \rightarrow [0,1]$ con

$$\hat{G}(f)(z) = \begin{cases} \sup_{G^{-1}(z)} f(x) & G^{-1}(z) \neq \emptyset \\ 0 & G^{-1}(z) = \emptyset \end{cases}$$

dove la funzione $G^{-1}(z)$ è la pre-immagine di $G: G^{-1}(z) = \{x: G(x) = z\}$.

Ad esempio, si consideri come funzione $G: \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{N}$ l'elevamento a quadrato di un numero intero, e l'insieme fuzzy $f: \mathbb{Z} \rightarrow [0,1]$ definito come $f(1)=0.3$, $f(-2)=0.4$, $f(2)=0.8$. Allora, avremo che $\hat{G}(f): \mathbb{N} \rightarrow [0,1]$ con $\hat{G}(f)(1)=0,3$, $\hat{G}(f)(4)=0,8$ e $\hat{G}(f)(z)=0$ per tutti i valori di z diversi da 1 e 4.

Riprendendo l'esempio del testo, G sarebbe la funzione che mappa altezza con numero di scarpe, f l'insieme delle persone alte e \hat{G} l'insieme delle persone dalle scarpe grandi.

Riquadro 2

Nel seguito sono riportate le operazioni insiemistiche di base che furono introdotte da Zadeh già nel 1965.

Intersezione: $(f \cap g)(x) = \min\{f(x), g(x)\}$

Unione: $(f \cup g)(x) = \max\{f(x), g(x)\}$

Complemento: $f^c(x) = 1 - f(x)$

Sottoinsieme: $f \subseteq g$ sse $\forall x \ f(x) \leq g(x)$

Sebbene queste siano le più utilizzate nelle applicazioni, molte altre sono possibili. In particolare, menzioniamo quelle basate su norme triangolari (t-norme) per definire l'intersezione e co-norme triangolari (t-conorme) per definire l'unione. T-norme e t-conorme sono operatori binari su $[0,1]$ che devono soddisfare le proprietà di associatività, commutatività e monotonia.

Riquadro 3

Lotfi Zadeh

(4 febbraio 1921- 6 settembre 2017)

Nasce il 4 febbraio 1921 a Baku (attualmente Azerbaigian, al tempo Repubblica Socialista Sovietica) dove il padre, iraniano, lavora come giornalista. La madre è invece pediatra, nata in Russia e di cittadinanza iraniana. Nel 1931 si trasferiscono a Teheran dove Lotfi frequenta una scuola di missionari presbiteriani e successivamente si laurea nel 1942 in ingegneria elettrica all'università di Teheran. Dopo avere lavorato con il padre come commerciante per l'esercito americano di stanza in Iran, nel 1944 si trasferisce negli Stati Uniti. Qui otterrà il master al Massachusetts Institute of Technology nel 1946 e nel 1949 il dottorato presso la University of Columbia, entrambi in ingegneria elettrica. Successivamente insegna per dieci anni presso la University of Columbia, diventando Full Professor nel 1957, per poi trasferirsi a Berkeley, University of California, dove rimane per tutto il resto della lunga carriera, diventando professore emerito nel 1991. Oltre all'invenzione degli insiemi fuzzy, ha dato un contributo importante nell'elaborazione dei segnali introducendo, insieme al suo supervisore di dottorato J. Ragazzini, i metodi basati sulla trasformata zeta, poi diventati lo standard nel settore.



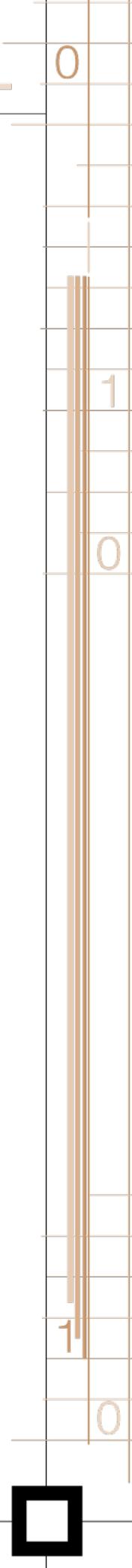
Bibliografia

- [1] Zadeh, L.A. (1965) "Fuzzy sets", *Information and Control*, 8(3), 338-353
- [2] Dubois, D., Prade, H. (2015) "The legacy of 50 years of fuzzy sets: A discussion", *Fuzzy Sets and Systems*, 281, 21-31
- [3] Dubois, D., Ostasiewicz, W., Prade, H. (2000), "Fuzzy Sets: History and Basic Notions", in Dubois, D., Prade, H. (a cura di) *Fundamentals of Fuzzy Sets*, Handbooks of Fuzzy Sets Series, Kluwer, 21-124
- [4] Guerra, T.M, Sala. A., Tanaka, K. (2015), "Fuzzy control turns 50: 10 years later", *Fuzzy Sets and Systems*, 281, 168-182
- [5] Zadeh, L.A. (1978) "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility", *Fuzzy Sets and Systems*, 1, 3-28
- [6] Dubois, D., Prade, H. (1988), *Possibility Theory*, Plenum, New York
- [7] L.A. Zadeh (1979), "Fuzzy sets and information granularity", in N. Gupta, R. Ragade, R. Yager (a cura di), *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, North-Holland, Amsterdam, 3-18.
- [8] Dubois, D., Prade, H. (1997), "The three semantics of fuzzy sets", *Fuzzy Sets and Systems*, 90, 141-150
- [9] *Technometrics*, 37 (3), 1995
- [10] "The paradoxical success of fuzzy logic", *IEEE Expert*, 9(4), 1994
- [11] *International Journal of Approximate Reasoning*, 26(2), 2001
- [12] <https://people.eecs.berkeley.edu/~zadeh/stimfl.html>, 28/07/2017
- [13] Laurent, J. (1981) *Les sous-ensemble flou*, Grasset
- [14] <http://www.arcifuzzy.it/> 28/07/2017
- [15] Mamdani, E.H., Assilian, S., (1975), "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13
- [16] Bonarini, A. (2003), "Sistemi Fuzzy", *Mondo Digitale*, 1, 3-14
- [17] Hullermeier, H. (2015), "Does machine learning need fuzzy logic?", *Fuzzy Sets and Systems*, 281, 292-299

Biografia

Davide Ciucci, laureato in Informatica nel 1999, ha conseguito il Dottorato in Matematica, Statistica, Scienze Computazionali ed Informatica nel 2004 presso l'Università degli Studi di Milano. Attualmente è professore associato presso il Dipartimento di Informatica, Sistemistica e Comunicazione dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca. L'attività di ricerca riguarda il trattamento dell'incertezza, in particolare tramite logiche non-classiche e *rough set*. Su queste tematiche ha pubblicato circa 90 articoli, sulle principali riviste e conferenze del settore. E' vicepresidente dell'International Rough Set Society, Area Editor di Int. J. of Approximate Reasoning e Associate Editor di Information Sciences.

Email: davide.ciucci@unimib.it



Il Pensiero Algoritmico con Oggetti Interattivi Va a Scuola

Andrea Bonani, Vincenzo Del Fatto, Gabriella Doderò, Rosella Gennari e Guerriero Raimato

Sommario

Scopo di questa ricerca è promuovere il pensiero algoritmico nelle scuole tramite attività multi-sensoriali di apprendimento “facendo”. Le attività utilizzano oggetti interattivi intelligenti per veicolare il pensiero algoritmico. L’articolo illustra come tali oggetti sono progettati e rivisti iterativamente, alla luce di studi sul campo con gli utenti—alunni, alunne ed insegnanti. Gli oggetti sono stati realizzati con le tecnologie proprie dell’Internet delle cose. Per promuovere il pensiero algoritmico negli alunni dai 9 ai 15 anni di età abbiamo utilizzato alcuni algoritmi sui grafi.

Abstract

The purpose of our research is to promote algorithmic thinking at school, by means of multi-sensory activities and learning-by-doing. Activities use interactive smart objects to convey algorithmic thinking. The paper illustrates how such objects have been designed and iteratively revised, through field studies with users-pupils and teachers. Objects have been implemented with Internet-of-Things (IoT) technologies. To promote algorithmic thinking in pupils aged from 9 to 15 years, we have used algorithms with graphs.

Keywords: algorithmic thinking; computational thinking; interactive objects; graph theory; K-12 education; teaching; learning by doing

1 Introduzione



1.1 Il contesto della ricerca

Il pensiero computazionale richiede un insieme di abilità importanti per tutti gli studenti, non soltanto per i futuri studenti di scienze informatiche e può essere di supporto a tutte le discipline, non soltanto quelle scientifiche [36]. Le recenti direttive dell'Unione Europea (UE) suggeriscono come accanto alle tre tradizionali abilità (leggere, scrivere, far di conto) diventi sempre più necessario affiancare abilità proprie del pensiero computazionale [35]. Secondo la UE, l'acquisizione di queste abilità è fondamentale per diventare un cittadino consapevole della società digitale del XXI secolo [17].

Il pensiero algoritmico è una parte essenziale del pensiero computazionale: richiede alla persona di astrarre un problema, specificarne quindi i dati essenziali ed infine formulare, passo per passo, le istruzioni da eseguire per risolvere il problema stesso. In altri termini, il pensiero algoritmico richiede di [20]:

1. analizzare ed astrarre un problema;
2. specificare i dati del problema;
3. definire e studiare un algoritmo per risolvere il problema.

Negli ultimi anni nei curricula scolastici di diversi paesi, europei [1] e non [2] [37] sono state introdotte attività rivolte a migliorare il raggiungimento delle abilità proprie del pensiero computazionale, in generale, ed algoritmico, in particolare. Le iniziative rivolte al pensiero algoritmico sono però ancora scarse e frammentarie, perlopiù rivolte a scuole tecniche.

Questo articolo avanza una proposta per introdurre il pensiero algoritmico nelle classi di alunni dai 9 ai 15 anni, attraverso l'utilizzo di oggetti interattivi.

1.2 I riferimenti tecnologici e pedagogici principali

L'idea sottostante alla ricerca qui esposta è di sfruttare le potenzialità offerte dalla rapida espansione di nuove tecnologie offerte dall'*Internet delle cose* (*Internet of Things, IoT*). Qui ci riferiamo a tutta quella serie di cosiddetti *oggetti intelligenti interattivi* in grado di utilizzare le tecnologie Internet per comunicare i dati raccolti, per esempio attraverso sensori, e di interagire con le persone per soddisfare i loro bisogni o desideri. Nel prossimo futuro, si prevede che il diffondersi di questi oggetti avrà un impatto significativo sulla vita umana. Si può quindi pensare di sfruttare le loro caratteristiche anche nel campo dell'educazione, creando nuovi ambienti di apprendimento più interattivi ed intelligenti.

Gli oggetti interattivi intelligenti dovrebbero stimolare e promuovere la partecipazione *attiva* degli alunni al proprio processo di apprendimento. Infatti, tali oggetti consentono di promuovere un'esperienza *multi-sensoriale* nel processo di apprendimento, stimolando quindi diversi canali di apprendimento.

Gli oggetti dovrebbero inoltre stimolare ad imparare costruendo e sperimentando o, come si suol dire nel mondo anglosassone, *facendo*. La pedagogia di riferimento è dunque di stampo costruttivista. La conoscenza è una costruzione di significato personale e attiva, legata al contesto ed

all'attività dell'alunno, che diventa in tal modo direttamente responsabile e protagonista del proprio apprendimento [19][4][27]. La prospettiva di costruttivismo socioculturale qui assunta, poi, evidenzia l'importanza che assume l'interazione con i propri pari nella costruzione di significato. In quest'ottica, gli oggetti interattivi intelligenti si prestano ad essere usati in gruppo, anche al fine di promuovere lo sviluppo di abilità sociali cooperative, altrettanto importanti per una crescita equilibrata.

1.3 Proposta e struttura dell'articolo

In sintesi, la ricerca presentata in questo articolo promuove l'idea che oggetti interattivi intelligenti possano favorire un approccio all'apprendimento multi-sensoriale, costruttivista e collaborativo del pensiero algoritmico.

Nello specifico, la ricerca si concentra sulla creazione di oggetti interattivi intelligenti per il pensiero algoritmico riguardante i grafi. Un grafo è una struttura semplice e versatile: un grafo (non orientato) è dato da nodi, v_0, \dots, v_n , e da archi fra nodi, della forma $\{v_i, v_j\}$ per i e j fra 1 e n . In genere, un grafo viene disegnato rappresentando i nodi con punti e gli archi con segmenti.

La scelta dei grafi dipende dal fatto che essi si prestano ad essere utilizzati in numerosi campi di applicazione concreti, ed è quindi possibile affrontare il pensiero algoritmico riguardante i grafi con esempi facilmente contestualizzabili nella vita reale, anche in alunni della scuola primaria. I grafi sono inoltre un argomento astratto, tradizionalmente tralasciato in ambito scolastico, che possono essere meglio compresi se resi concreti con oggetti tangibili. Attraverso la richiesta di costruire grafi con oggetti, partendo da situazioni reali, gli alunni hanno la possibilità di sviluppare abilità di astrazione e modellizzazione, tipiche del pensiero algoritmico.

L'articolo inizia con una rassegna della letteratura, condotta in modo sistematico, per valutare e classificare gli interventi rivolti alla trasmissione del pensiero computazionale, ed in particolare algoritmico. La rassegna termina discutendo le potenzialità e difficoltà emerse nel portare il pensiero algoritmico a scuola, e motiva la parte successiva, relativa alla progettazione di oggetti interattivi intelligenti per veicolare il pensiero algoritmico per grafi. Vengono quindi spiegate le modalità di progettazione degli oggetti, descrivendo l'ultimo prototipo. Si spiegano quindi alcuni scenari d'uso degli oggetti, e si discutono infine i risultati dei primi studi sul campo con gli oggetti.

2 Rassegna della letteratura

Prima di iniziare il lavoro di progettazione degli oggetti interattivi si è cercato di inquadrare lo stato dell'arte attraverso una revisione sistematica della letteratura esistente. Si è partiti analizzando la situazione relativa

all'insegnamento/apprendimento del pensiero algoritmico nella scuola, quali contenuti vengono trasmessi, attraverso quali modalità e strategie, considerando anche l'età degli alunni verso i quali le attività sono rivolte. Si è preso in esame non solo la situazione italiana, ma la situazione presente in ambito europeo ed extraeuropeo. In una seconda fase si è investigato l'uso degli oggetti interattivi nella scuola, focalizzando l'attenzione su come vengono utilizzati per migliorare l'apprendimento del pensiero algoritmico.

Nel prosieguo, prima viene spiegata come è stata condotta la ricerca degli articoli, poi si spiega come è stata realizzata la classificazione degli stessi.

2.1 Ricerca degli articoli

La revisione sistematica della letteratura è basata sulle linee guida presentate in [29]. Nello specifico, sono stati seguiti i seguenti passi:

- *passo 1*: ricerca in 5 librerie digitali;
- *passo 2*: prima selezione degli articoli individuati nel passo precedente, sulla base del primo criterio di selezione individuato, ovvero che il titolo contenesse alcuni termini specifici;
- *passo 3*: seconda selezione degli articoli individuati nel passo precedente, sulla base del secondo criterio di selezione individuato, ovvero la lettura dei sommari degli articoli.

Nel primo passo, sono state interrogate le seguenti librerie digitali:

- ACM Digital Library (Association for Computing Machinery);
- IEEE Xplore Digital Library (Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society);
- Scopus;
- ERIC (Education Resources Information Center);
- HCI Bibliography: Human-Computer Interaction Resources.

L'interrogazione ha utilizzato la seguente chiave di ricerca:

“algorithmic AND thinking AND (education OR school OR learning OR physical OR “interaction design” OR tangible)”.

I risultati ottenuti sono stati oggetto di una prima selezione (*passo 2*), che ha conservato soltanto gli articoli che presentano nel titolo almeno uno dei seguenti termini, concordati da due ricercatori indipendenti:

- computational thinking
- algorithmic thinking
- education/educational
- student
- K-12
- children
- learning

- teacher
- teaching
- curriculum

Un'ulteriore selezione (*passo 3*) ha riguardato la lettura del sommario, che ha conservato soltanto gli articoli ritenuti maggiormente attinenti al tema dell'apprendimento/insegnamento del pensiero algoritmico a scuola. Il giudizio è stato dato da due ricercatori, indipendentemente. Gli stessi hanno poi confrontato, iterativamente, i loro risultati discutendo le situazioni di disaccordo per giungere ad una decisione comune.

Digital library	Passo 1	Passo 2	Passo 3
ACM (Association for Computing Machinery)	211	102	44
IEEE Xplore	61	26	8
Scopus	254	136	66
ERIC (Education Resources Information Center)	81	45	5
HCI Bibliography	4	4	4

Tabella 1:
Risultati della rassegna della letteratura

Le librerie con più articoli inerenti l'argomento sono Scopus ed ACM. Un'analisi dell'andamento temporale del numero di articoli, selezionati dalle basi dati ACM e Scopus, evidenzia un sensibile incremento delle pubblicazioni inerenti l'argomento negli anni, a partire dal 2001, anno in cui cominciano a comparire un numero più consistente di pubblicazioni. Questo viene letto come indice di crescente interesse della ricerca verso la tematica (Figura 1).

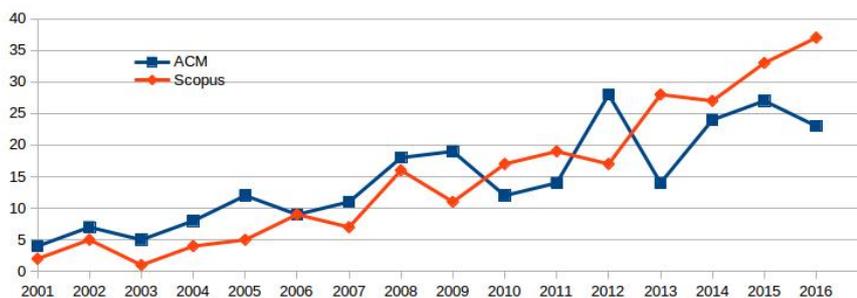


Figura 1
Andamento del numero di pubblicazioni relative all'argomento negli anni (i dati si riferiscono alle librerie digitali ACM e Scopus).

2.2 Classificazione tematica degli articoli

I due ricercatori, operanti la selezione, hanno letto individualmente gli articoli e li hanno classificati tematicamente. La classificazione tematica è stata anche questa frutto di un processo induttivo ed iterativo. La classificazione

usa come criterio la modalità di introduzione o insegnamento del pensiero computazionale, e algoritmico in particolare, per gli alunni e gli insegnanti. Le tre modalità e classi risultanti sono le seguenti:

1. modalità con il computer;
2. modalità senza computer;
3. modalità supportata da oggetti interattivi.

La prima categoria è quella più nota e diffusa. Il pensiero algoritmico viene affrontato attraverso l'insegnamento di elementi base della programmazione, usando solitamente ambienti dedicati [10] [12]. Il più noto dei quali è Scratch [32]. Si basa perlopiù su un approccio individuale di apprendimento, con compiti predefiniti e prestabiliti dal docente o in accordo con il docente. Negli ultimi anni, sono nate diverse iniziative promosse da privati, quali "l'ora del codice", rivolte al pubblico, che usano piattaforme e percorsi mirati per avviare i ragazzi alle basi della programmazione [11] [28].

La seconda modalità fa capo ad una corrente di pensiero che non usa i computer per veicolare il pensiero computazionale, per differenti ragioni. Il capofila di questo approccio è indubbiamente *CS unplugged* [2]. *CS unplugged* è un insieme di attività didattiche (delle quali è disponibile anche una traduzione in lingua italiana [13]) che insegnano il pensiero computazionale utilizzando materiale "povero" (carta, corde, pastelli) e promuovendo l'apprendimento tramite attività fisiche, spesso presentate sotto forma di gioco, da svolgere in classe o all'aperto, in genere in collaborazione. Le attività sono principalmente pensate per alunni della scuola primaria, ma se opportunamente adattate, si prestano anche ad un impiego con alunni della scuola secondaria di primo grado. Da questa idea sono successivamente sorte numerose altre iniziative simili, p.es., [3] [7] [26] [30].

Infine, l'ultimo approccio si basa sull'uso di oggetti interattivi [33]. Sono ben note le esperienze di *making* di oggetti interattivi e di robotica educativa, basate sul costruzionismo e sull'imparare costruendo un proprio prodotto. In genere, queste attività sono di stampo laboratoriale. Sono spesso svolte coi più piccoli al di fuori del percorso e dell'ambiente scolastico tradizionale, oppure all'interno di scuole secondarie superiori di indirizzo tecnico, p.es., [5] [6] [31]. Da qualche anno a questa parte, si fanno strada attività rivolte al pensiero computazionale con oggetti interattivi, che si basano su approcci pedagogici diversi e rivolte a contesti scolastici differenti, analoghe a quelle della nostra ricerca [21] [34]. Creare attività di apprendimento con oggetti interattivi per promuovere un'esperienza multi-sensoriale, costruttivista e collaborativa nell'apprendimento, rivolte al pensiero computazionale in generale od algoritmico nello specifico, è oggi più semplice, data l'esplosione del cosiddetto Internet delle cose, ed il conseguente crescente sviluppo di micro-elettronica di sempre più facile utilizzo; simili oggetti interattivi hanno il vantaggio di poter essere sviluppati rapidamente, ed adattati facilmente al contesto di apprendimento, come spiegato per esempio in [14]. In tal senso, l'esperienza più vicina a quella che si presenta in questo articolo è riportata in [23]. Tale ricerca usa oggetti interattivi intelligenti di rapido

sviluppo, e promuove un apprendimento multi-sensoriale, costruttivista e collaborativo.

Gli oggetti interattivi hanno il vantaggio di poter rendere ancora più coinvolgente l'attività. Per esempio, per coinvolgere attivamente e in maniera giocosa, gli oggetti interattivi possono essere ludicizzati (*gamified*, in inglese) nel senso dei *gamified probes* definiti od usati in diversi contesti educativi come riportato in [23] [24]: gli oggetti sono creati utilizzando principi ed elementi tipici della progettazione dei videogiochi per coinvolgere tutti gli alunni, remunerando la collaborazione coi pari nell'apprendere, nonché promuovendo un senso tangibile di progressione nel percorso di apprendimento, ed inglobando meccanismi di controllo delle proprie scelte.

In sintesi, dall'analisi degli articoli, emerge che, nella maggior parte dei casi, le proposte per la scuola si concentrano su attività rivolte all'acquisizione delle abilità proprie del pensiero computazionale in generale. L'analisi della letteratura mostra che le attività specificamente orientate all'insegnamento del pensiero algoritmico sono relativamente poche, sono presentate in meno del 20% degli articoli selezionati. In particolare le esperienze in cui si utilizzano oggetti interattivi sono rare, solo in quattro articoli si fa esplicito riferimento allo sviluppo del pensiero algoritmico attraverso oggetti interattivi.

Alla luce di questi risultati, e delle potenzialità degli oggetti interattivi basati sull'Internet delle cose per creare nuove soluzioni di apprendimento, si è quindi pensato di progettare oggetti interattivi per coinvolgere e veicolare il pensiero algoritmico tramite un'esperienza multi-sensoriale, collaborativa e costruttivista. La progettazione di oggetti interattivi per veicolare il pensiero algoritmico attraverso i grafi è descritta nella sezione successiva.

3 Oggetti interattivi per grafi

3.1 Metodologia di progettazione

La metodologia usata per la creazione degli oggetti interattivi intelligenti è di *meta-design* nel senso di [18], basata sul paradigma della ricerca-azione. È particolarmente adatta per ricerche esplorative e per sviluppare prodotti per contesti sociali nuovi ed in continua evoluzione, come nel caso della nostra ricerca. Esempi recenti di progettazione simili con bambini e/o insegnanti, in scuole italiane, sono riportati in [15] [22].

La metodologia progettuale richiede di sviluppare rapidamente prototipi, perlopiù verticali (ciascuno con poche funzionalità critiche), facili da adattare al contesto di apprendimento specifico e da abbandonare o rivedere al termine della sperimentazione. Vede il coinvolgimento attivo di più soggetti, in azioni che si svolgono in contesti di apprendimento specifici: ricercatori nell'area della progettazione dell'interazione e delle tecnologie per l'apprendimento; utenti finali, nel caso in oggetto, insegnanti ed alunni (Figura 2). Durante queste azioni, i ricercatori osservano e studiano l'uso che fanno gli utenti dei prototipi sviluppati, considerando in special modo usi non attesi, per scoprire nuove potenziali aree di ricerca e sviluppo.

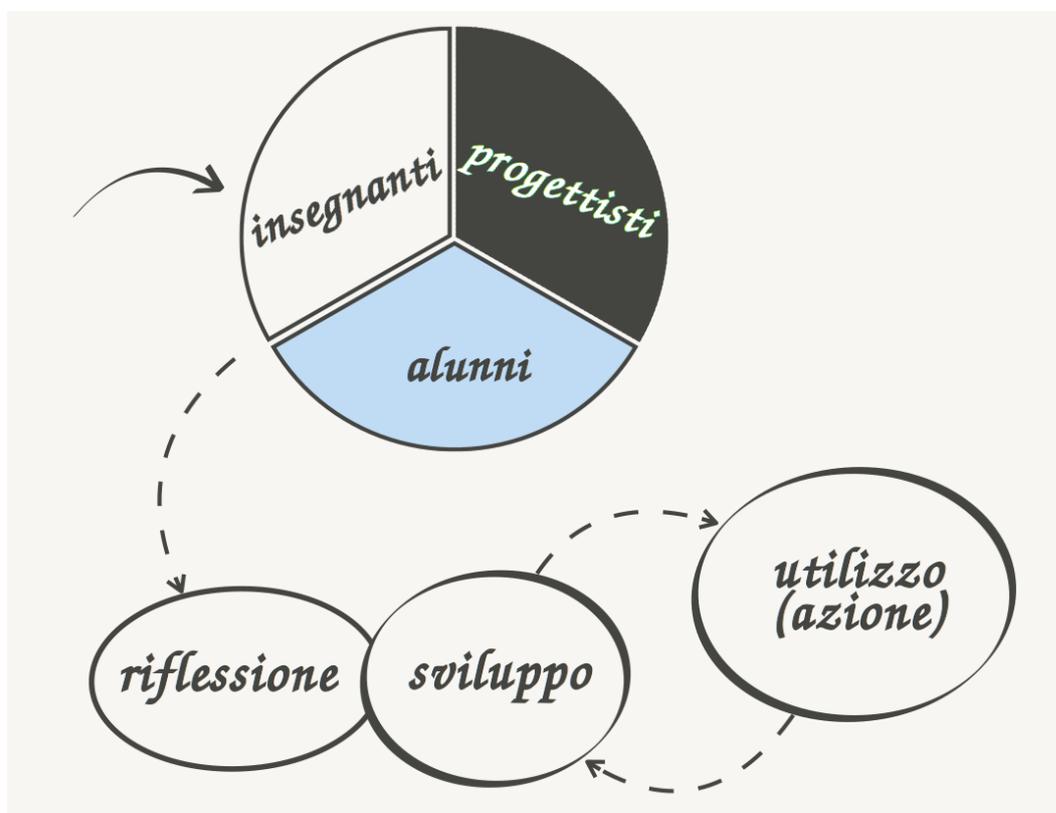


Figura 2
Il processo di progettazione

Gli utenti usano i prototipi nel proprio contesto, commentano e suggeriscono o trovano nuovi usi per i prototipi stessi. Tutti i partecipanti devono trarre dei benefici dal partecipare alle azioni. Nel caso specifico trattato dalla ricerca qui esposta, insegnanti ed alunni acquisiscono conoscenze o competenze nuove relative a grafi ed algoritmi, oltre a contribuire alla progettazione di oggetti per il proprio contesto di apprendimento. I ricercatori maturano idee nuove per progettare soluzioni innovative, ed acquisiscono informazioni cruciali per la progettazione, relative al contesto.

3.2 Prototipi

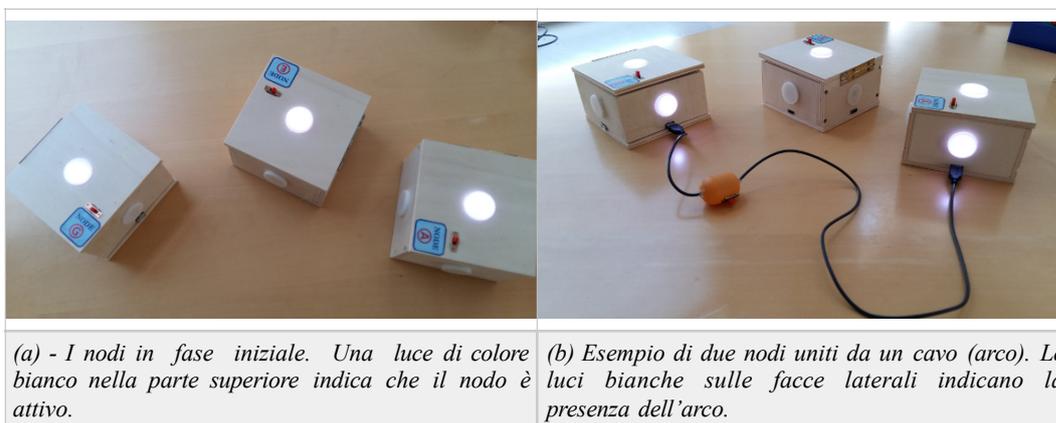
I prototipi di oggetti interattivi intelligenti che sono attualmente in fase di studio con i grafi implementano un'architettura client-server. Il server è un computer o tablet destinato ad essere usato solo dal docente. Questo computer verifica le proprietà dei grafi e registra (tramite log) le azioni svolte dagli alunni per raggiungere l'obiettivo indicato dall'insegnante. Il docente interagisce col server tramite un'interfaccia grafica dedicata, che gli consente di verificare in tempo reale le azioni svolte dagli alunni sul grafo. L'interfaccia grafica si presta inoltre ad essere eventualmente proiettata in classe. In tal modo alunni non impegnati nella costruzione del grafo possono comunque

seguire passo dopo passo cosa stanno facendo i loro compagni, e commentare l'attività. Lo strumento offre quindi all'insegnante la possibilità di:

1. monitorare l'intero processo di apprendimento, in tempo reale ma anche a posteriori;
2. ricevere un aiuto concreto per una valutazione il più possibile obiettiva dell'operato degli alunni, tramite *log* dettagliati delle loro attività;
3. rivedere la propria attività didattica e pianificare nuove attività, sempre sulla base di *log* delle azioni svolte dagli alunni.

I client, che rappresentano archi e nodi, sono gli oggetti interattivi intelligenti che servono agli studenti a costruire e ragionare con grafi, esplorando o definendo algoritmi per grafi. Stimolano sensi diversi che vanno dal tatto alla vista, e richiedono ai ragazzi di muoversi e lavorare insieme. In tal senso, sono il cuore dell'esperienza multi-sensoriale, costruttivista e collaborativa della ricerca.

I nodi-client interagiscono con il server attraverso una connessione WiFi. In particolare, un nodo (Figura 3a) è una scatola contenente micro-elettronica. Per interagire con gli studenti, un nodo è dotato di un pulsante di attivazione e di alcune luci LED. I nodi sono collegabili tramite cavi, i quali rappresentano gli archi del grafo (Figura 3b). Su ogni faccia di un nodo, si trovano luci LED in corrispondenza del punto in cui si può inserire un cavo per creare un arco. Nella versione prototipale attuale, usata con le scuole, anche i cavi per gli archi presentano un pulsante di attivazione, che gli studenti possono utilizzare in alcuni scenari di apprendimento specifici.



(a) - I nodi in fase iniziale. Una luce di colore bianco nella parte superiore indica che il nodo è attivo.

(b) Esempio di due nodi uniti da un cavo (arco). Le luci bianche sulle facce laterali indicano la presenza dell'arco.

Figura 3
Gli oggetti interattivi: nodi e archi

Oltre agli oggetti per nodi ed archi, è presente un altro oggetto interattivo intelligente: il pulsante di conferma (Figura 4d). Al termine di specifici scenari di apprendimento, gli studenti possono premere il pulsante di conferma ed

avere, attraverso opportune segnalazioni luminose, un feedback sul corretto completamento del compito assegnato. Alcuni di questi scenari sono illustrati nel seguito.

3.3 Scenari

Sono stati realizzati diversi scenari d'uso e di apprendimento, con livelli di complessità crescente, i quali descrivono possibili usi degli oggetti interattivi per grafi. Essi possono essere sperimentati con studenti di diversi ordini di scuola, dalle scuole primarie alle secondarie inferiori. Tutti gli scenari richiedono agli studenti di astrarre e modellizzare una situazione con grafi, nonché di scoprire o verificare di algoritmi di base su grafi.

La scelta di veicolare il pensiero algoritmico attraverso l'insegnamento di elementi di base della teoria dei grafi è motivata dalla presenza di numerosi e concreti esempi d'uso che i grafi consentono di affrontare.

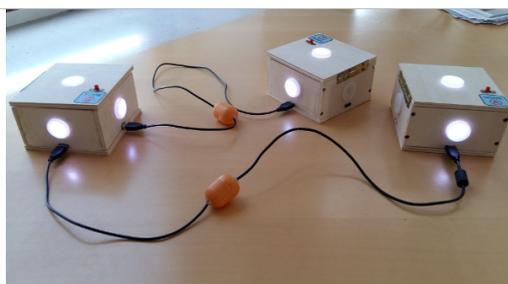
Inoltre questa è una tematica poco trattata nella scuola, che richiederebbe invece una maggiore attenzione per l'aiuto che offre nel comprendere meglio la realtà che ci circonda. Esempi di applicazioni didattiche possono variare, a seconda dell'età degli alunni, considerando le reti di comunicazione (stradali e non) su diverse scale, i sistemi fluviali, le reti sociali, la geometria dei poliedri, i siti web e molto altro ancora.

Nel prosieguo, sono esposti due scenari d'uso, propedeutici l'uno all'altro.

Grafo semplice e connesso. Il primo scenario incomincia con la costruzione di un grafo semplice, ovvero di un grafo senza archi paralleli o cappi (ovvero archi diversi fra due stessi nodi o fra un nodo e se stesso). Lo scenario termina con la costruzione di un grafo semplice e connesso, ovvero di un grafo semplice che, fra ogni coppia di nodi, ha un cammino (una sequenza di nodi (v_0, v_1, \dots, v_m) collegati da archi, ovvero, tali che, per ogni i fra 1 ed m , v_i è un arco fra i nodi v_{i-1} e v_i della sequenza). La costruzione avviene collegando dei nodi tra loro, attraverso dei cavi-archi forniti dall'insegnante, fino a rappresentare il grafo desiderato (Figura 4b). I nodi forniscono all'alunno un feedback immediato, mediante una segnalazione luminosa, sulla correttezza delle azioni che sta compiendo. Per esempio, un segnale luminoso intermittente di colore rosso segnala la presenza di un errore se il grafo non è semplice, ovvero, se gli studenti introducono un cappio o due archi paralleli fra due nodi (si veda Figura 4a). La segnalazione termina una volta rimosso il collegamento fisico che ha portato alla creazione dell'errore. Quando gli studenti ritengono di aver completato l'esercizio di costruzione di un grafo semplice e connesso, possono utilizzare un oggetto specifico, il pulsante di conferma (l'oggetto cilindrico visibile in Figure 4c e 4d). Le segnalazioni luminose sui nodi sono di colore verde se il grafo è stato realizzato correttamente (Figura 4d), in caso contrario ciascuna componente connessa assume una colorazione diversa (Figura 4c).



(a) Esempio di errore: il grafo non è semplice, infatti ha due archi paralleli.



(b) Grafo semplice e connesso, formato da tre nodi e due archi.

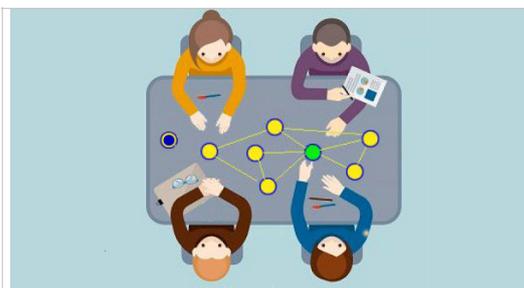


(c) Grafo non connesso: le luci della prima componente connessa si accendono di colore giallo, quelle del nodo isolato di colore azzurro.



(d) Grafo connesso: dopo aver premuto il "pulsante conferma" le luci si accendono di colore verde.

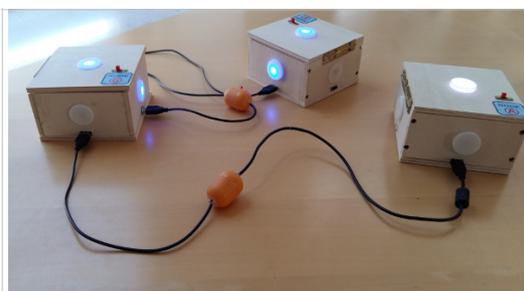
Albero ricoprente. Un secondo scenario, che richiede l'aver eseguito il primo, e l'aver introdotto il concetto di albero: un grafo connesso, senza cicli (ovvero non ha cammini che iniziano e terminano in uno stesso nodo). Lo scenario riguarda la costruzione di un albero ricoprente per il grafo costruito nello scenario precedente (Figura 5): i nodi dell'albero sono tutti i nodi del grafo e nessun altro; tutti gli archi dell'albero sono archi del grafo. In questo caso la costruzione dell'albero non avviene collegando fisicamente gli oggetti interattivi che rappresentano i nodi e gli archi, ma selezionando nodi e archi che si desiderano aggiungere all'albero ricoprente. La selezione avviene utilizzando i pulsanti presenti sugli oggetti (nodi e archi). I segnali luminosi di colore blu indicano la selezione corretta di nodi e archi nell'albero ricoprente (Figura 5c). Come nello scenario precedente, gli oggetti interattivi comunicano agli alunni eventuali errori con una segnalazione intermittente di colore rosso (Figura 5b e 5d). Questo scenario prevede la possibilità per gli studenti di realizzare un albero ricoprente in modalità esplorativa, senza alcun vincolo relativo a quale algoritmo seguire, oppure seguendo un algoritmo quale l'algoritmo di Prim. Come nello scenario precedente, al termine dello scenario, premendo l'oggetto pulsante di conferma, gli oggetti interattivi comunicano con segnalazioni luminose se l'albero costruito è ricoprente.



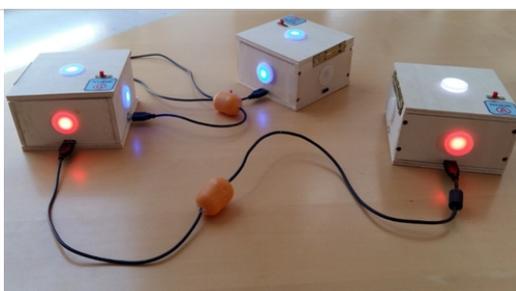
(a) Situazione in classe: alunni attorno ad un tavolo discutono le possibili azioni da effettuare per la costruzione di un albero ricorrente.



(b) Esempio di errore: la selezione di un nodo non adiacente al nodo di partenza (blu) è segnalata come errore dall'accensione di una luce rossa



(c) Attivazione di un arco: l'accensione di colore blu indica la realizzazione di un'azione corretta.



(d) Esempio di errore: attivazione di un arco in sequenza errata secondo l'algoritmo di Prim.

4 Conclusioni e lavori futuri

L'articolo presenta una ricerca, in corso di sviluppo, che mira ad introdurre il pensiero algoritmico nella scuola attraverso l'uso di oggetti interattivi intelligenti, realizzati con le tecnologie dell'Internet delle cose.

Il pensiero algoritmico viene sviluppato introducendo i concetti della teoria dei grafi, ed alcuni algoritmi di base per grafi. I numerosi campi di applicazione, nonché l'elevato numero di esempi concreti modellabili con grafi si prestano ad essere un ottimo banco di prova per lo sviluppo di competenze legate al pensiero algoritmico.

Utilizzando una progettazione meta-design, che si basa sul principio di ricerca-azione, sono già stati condotti studi in contesti di apprendimento informali con prototipi di oggetti interattivi intelligenti. Gli studi hanno coinvolto sia i ricercatori sia gli insegnanti della scuola secondaria di primo grado, nonché alcuni alunni della scuola primaria e secondaria di primo grado.

In base ai risultati della fase esplorativa dell'analisi del contesto, confermati dagli studi sul campo con gli utenti finora condotti, i due scenari su esposti sono ritenuti adatti anche per le classi degli ultimi anni della scuola primaria,

oltre che della scuola secondaria di primo grado. Altri scenari, ad esempio relativi alla costruzione di un cammino minimo, possono essere realizzati con prototipi che sono in fase di sviluppo; essi verranno proposti anche alle classi del primo biennio della scuola secondaria di secondo grado.

Per quanto concerne l'usabilità degli oggetti interattivi, i risultati emersi dagli ultimi studi sul campo, condotti con ragazzi della scuola media e con i loro insegnanti, hanno evidenziato la necessità di indicare con maggiore chiarezza l'attivazione dell'elemento arco presente nel grafo e/o albero ricoprente. Pertanto sono programmate modifiche in tal senso agli oggetti interattivi prima di effettuare ulteriori studi in classe, previsti nell'autunno del 2017. Sono inoltre emersi, usando gli oggetti sul campo, nuovi possibili scenari di apprendimento, come riportato in [8] [9].

È inoltre previsto per i prossimi mesi uno studio ulteriore sul campo, con altri due scenari relativi all'utilizzo di grafi pesati. Nel primo si chiederà la costruzione del minimo albero ricoprente, dato un grafo pesato. Nel secondo, si richiederà agli studenti di individuare il cammino minimo tra due nodi di un grafo pesato. I dati raccolti in questi ulteriori studi saranno utilizzati per completare la progettazione di oggetti interattivi per veicolare il pensiero algoritmico su grafi, nonché per stendere delle prime linee guida, per la realizzazione degli stessi ed il loro uso.

Riferimenti bibliografici

1. Barendsen, E., Mannila, L., Demo, B., Grgurina, N., Izu, C., Mirolo, C., Sentance, S., Settle, A., Stupuriene, G.: Concepts in k-9 computer science education. In: Proceedings of the 2015 ITiCSE on Working Group Reports. pp. 85–116. ACM (2015)
2. Bell, T., Alexander, J., Freeman, I., Grimley, M.: Computer science without computers: new outreach methods from old tricks. In: Proceedings of the 21st Annual Conference of the National Advisory Committee on Computing Qualifications (2008)
3. Bellettini, C., Lonati, V., Malchiodi, D., Monga, M., Morpurgo, A., Torelli, M., Zecca, L.: Extracurricular activities for improving the perception of informatics in secondary schools. In: Informatics in Schools. Teaching and Learning Perspectives, pp. 161–172. Springer (2014)
4. Ben-Ari, M.: Constructivism in computer science education. Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching 20(1), 45–73 (2001)
5. Bers, M.U.: The tangible robotics program: Applied computational thinking for young children. Early Childhood Research & Practice 12(2), n2 (2010)
6. Bers, M.U., Flannery, L., Kazakoff, E.R., Sullivan, A.: Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. Computers & Education 72, 145–157 (2014)

7. Bischof, E., Mittermeir, R.: Informatik erleben. Institut für Informatik-Systeme, Alpen-Adria University Klagenfurt, see also <http://informatik-erleben.uni-klu.ac.at> (2008)
8. Bonani, A., Del Fatto, V., Dodero, G., Gennari, R., Raimato, G.: First steps towards the design of tangibles for graph algorithmic thinking. In: International Conference in Methodologies and intelligent Systems for Technology Enhanced Learning. pp. 110–117. Springer (2017). DOI: 10.1007/978-3-319-60819-8_13
9. Bonani, A., Del Fatto, V., Dodero, G., Gennari, R., Raimato, G.: Participatory design of tangibles for graphs: A small-scale field study with children. In: Citizen, Territory and Technologies: Smart Learning Contexts and Practices: Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Learning Ecosystems and Regional Development-University of Aveiro, Portugal, 22-23, June 2017. vol. 80, p. 161. Springer (2018). DOI: 10.1007/978-3-319-61322-2_16
10. Capovilla, D., Krugel, J., Hubwieser, P.: Teaching algorithmic thinking using haptic models for visually impaired students. In: Learning and Teaching in Computing and Engineering (LaTiCE), 2013. pp. 167–171. IEEE (2013)
11. Code.org: Anybody can learn (2017), <http://code.org>
12. Cooper, S., Dann, W., Pausch, R.: Developing algorithmic thinking with Alice. In: Information Systems Educators Conference. pp. 506–539 (2000)
13. Davoli et al.: CS unplugged. Imparare l'informatica senza alcun computer (2015), http://csunplugged.org/wp-content/uploads/2016/02/csunplugged-it_2015.1.0.pdf
14. Del Fatto, V., Gennari, R., Melonio, A., Raimato, G.: The Design of a Smart Tray with Its Canteen Users: A Formative Study, pp. 36–43. Springer International Publishing, Cham (2017), http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-60819-8_5
15. Di Mascio, T., Gennari, R., Melonio, A., Tarantino, L.: Engaging “New Users” into Design Activities: The TERENCE Experience with Children, pp. 241–250. Springer International Publishing, Cham (2014)
16. Dodero, G., Gennari, R., Melonio, A., Torello, S. "There Is No Rose Without A Thorn": An Assessment of a Game Design Experience for Children. In Proceedings of the 11th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter (CHIItaly 2015). ACM, New York, NY, USA, 10-17. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2808435.2808436>
17. European Schoolnet: Computing our future (2015), available as http://fcl.eun.org/documents/10180/14689/Computing+our+future_final.pdf
18. Fischer, G., Fogli, D., Piccinno, A.: Revisiting and Broadening the Meta-Design Framework for End-User Development. In: New Perspectives in End User Development. Springer (in print)

19. Fosnot, C.T.: Constructivism revisited: Implications and reflections. *The Constructivist* 16(1), 1–17 (2005)
20. Futschek, G.: Algorithmic thinking: the key for understanding computer science. In: *Informatics education—the bridge between using and understanding computers*, pp. 159–168. Springer (2006)
21. Futschek, G., Moschitz, J.: Learning algorithmic thinking with tangible objects eases transition to computer programming. In: *Informatics in Schools. Contributing to 21st Century Education*, pp. 155–164. Springer (2011)
22. Gennari, R., Melonio, A., Raccanello, D., Brondino, M., Dodero, G., Pasini, M., Torello, S.: Children’s emotions and quality of products in participatory game design. *International Journal of Human-Computer Studies* 101, 45–61 (2017). DOI: 10.1016/j.ijhcs.2017.01.006
23. Gennari, R., Del Fatto, V., Gashi, E., Sanin, J., Ventura, A.: *Gamified Technology Probes for Scaffolding Computational Thinking*, pp. 303–307. Springer International Publishing, Cham (2016). DOI: 10.1007/978-3-319-33464-6_19
24. Gennari, R., Melonio, A., Torello, S.: Gamified probes for cooperative learning: a case study. *Multimedia Tools Appl.* 76, 4 (February 2017), 4925-4949. DOI: 10.1007/s11042-016-3543-7
25. Gennari, R., Melonio, A., Rizvi, M.: *The Participatory Design Process of Tangibles for Children’s Socio-Emotional Learning*, pp. 167–182. Springer International Publishing, Cham (2017). DOI: 10.1007/978-3-319-58735-6_12
26. Gibson, J.P.: Teaching graph algorithms to children of all ages. *Proceedings of the 17th ACM annual conference on Innovation and technology in computer science education - ITiCSE '12* p. 34 (2012), [http://dl.acm.org/citation.cfm?doid= 2325296.2325308](http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2325296.2325308)
27. Gilakjani, A.P., Lai-Mei, L., Ismail, H.N.: Teachers’ use of technology and constructivism. *International Journal of Modern Education and Computer Science* 5(4), 49 (2013)
28. Kalelioğlu, F.: A new way of teaching programming skills to k-12 students: Code. org. *Computers in Human Behavior* 52, 200–210 (2015)
29. Kitchenham, B., Charters, S.: Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering (2007), disponibile online <https://pdfs.semanticscholar.org/e62d/bbbe70cabcd3335765009e94ed2b9883d5.pdf>
30. Lamagna, E.A.: Algorithmic thinking unplugged. *Journal of Computing Sciences in Colleges* 30(6), 45–52 (2015)
31. Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., Malyn-Smith, J., Werner, L.: Computational thinking for youth in practice. *Acm Inroads* 2(1), 32–37 (2011)
32. Maloney, J., Resnick, M., Rusk, N., Silverman, B., Eastmond, E.: The scratch programming language and environment. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)* 10(4), 16 (2010)

33. Papert, S.: Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas. Basic Books, Inc. (1980)
34. Peng, H.: Algo.Rhythm: computational thinking through tangible music device. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction. pp. 401–402. ACM (2012)
35. Sysło, M.M., Kwiatkowska, A.B.: Introducing a new computer science curriculum for all school levels in poland. In: International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution, and Perspectives. pp. 141–154. Springer (2015)
36. Wing, J.M.: Computational thinking. Communications of the ACM 49(3), 33–35 (2006)
37. Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambrusch, S., Korb, J.T.: Computational thinking in elementary and secondary teacher education. ACM Transactions on Computing Education (TOCE) 14(1), 5 (2014)

Biografie autori

Andrea Bonani: insegnante nella scuola secondaria di primo grado. Dal 2006 al 2016 è stato distaccato presso l'Intendenza scolastica di Bolzano in qualità di membro, e successivamente coordinatore, del progetto FUSS (migrazione verso il software libero delle postazioni didattiche della provincia di Bolzano). Attualmente dottorando presso la Libera Università di Bolzano. La sua area di ricerca riguarda le tecnologie educative.

Email: abonani@unibz.it

Vincenzo Del Fatto: ricercatore della Facoltà di Scienze e Tecnologie informatiche della Libera Università di Bolzano. Ha ottenuto la laurea presso l'Università di Salerno nel 2002 e il PhD in Computer Science congiuntamente all'Università di Salerno e INSA di Lione nel 2009. Dal 2009 al 2012 ha lavorato presso l'Università di Salerno nei seguenti ambiti: spatial DBMS, HCI, geovisualitation e GIS. Dal 2012 lavora come ricercatore presso la Libera Università di Bolzano. I suoi interessi di ricerca comprendono spatial DBMS, GIS, GeoVis, HCI e TEL.

Email: vincenzo.delfatto@unibz.it

Gabriella Dodero: dal 2006 è Professore Ordinario di Informatica presso la Libera Università di Bolzano (UniBZ). È stata Prorettrice agli Studi nel 2012-2016 e Preside della Facoltà di Scienze e Tecnologie Informatiche nel 2007-2009. La sua attività di ricerca recente alterna temi di tecnologie per l'apprendimento con temi di didattica dell'informatica. Prima di insegnare a UniBZ, ha lavorato per 29 anni all'Università di Genova, dove si è laureata nel 1997 in Matematica.

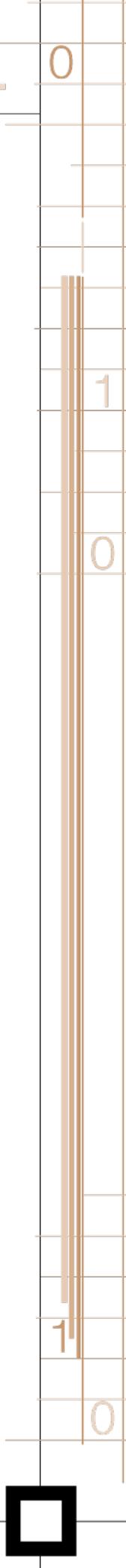
Email: gabriella.dodero@unibz.it

Rosella Gennari: è ricercatrice alla Libera Università di Bolzano. Dopo la laurea in matematica all'Università di Pavia, ha conseguito il dottorato in Informatica all'Università di Amsterdam e nel 2002 il prestigioso premio Alain Bensoussan ERCIM per attività di ricerca. La sua ricerca recente riguarda la progettazione dell'interazione e le tecnologie educative. Ha diverse esperienze di coordinatrice e responsabile scientifica di progetti, p.es., TERENCE (2010-2013), un FP7 (c. 2.300.000 euro) per la creazione automatica di giochi "intelligenti" per le storie. Ha all'attivo c. 100 pubblicazioni internazionali e diverse organizzazioni di convegni internazionali.

Email: gennari@inf.unibz.it

Guerriero Raimato: nel 2003 Laureato in Informatica presso Università degli studi di Salerno e nell'ottobre dello stesso anno inizia il suo percorso di Dottorato di ricerca presso il Dipartimento di Informatica e Applicazioni "Renato Capocelli" dell'Università di Salerno. Durante il percorso di dottorato la sua attività di ricerca si è focalizzata sulla analisi e sullo sviluppo di nuovi protocolli per servizi web sicuri. Nell'ultimo periodo si è dedicato alle problematiche dell'Internet of Things presso la Libera Università di Bolzano.

Email: guerriero.raimato@unibz.it



Come formare #Mentipensanti

Piera Schiavone, Angela Teresa Attollino,
Pierangelo Leone

Sommario

Come guidare gli studenti a competere nella sfida della complessità? Il paper descrive l'esperienza didattica di tre docenti di liceo scientifico (Italiano e Latino, Storia e Filosofia, Matematica e Fisica) che hanno creato simulazioni on-line attingendo principalmente ai quesiti di logica delle prove di accesso all'università, da somministrare già nel corso del IV anno di liceo, per verificare le conoscenze degli alunni, la loro apertura mentale, la capacità di ragionamento e le competenze acquisite. I quesiti sono stati suddivisi in 5 argomenti: pensiero critico, logica figurale, arte di argomentare, ragionare per modelli, problem solving. Obiettivo della sperimentazione è sparsa colligo: passare dalla conoscenza suddivisa in saperi disciplinari alla conoscenza transdisciplinare verso l'acquisizione delle competenze.

Abstract

How shall we guide the students to compete in the challenge of complexity? The paper describes a teaching experience, lead by three teachers of different subjects (Italian and Latin, History and Philosophy, Mathematics and Physics) from Liceo Scientifico who have created on line simulations by drawing on University entry test queries, to be given in the course of the IV years of high school with the aim to measure the students' knowledge, their open mindedness, their reasoning skills and acquired competences. The queries have been divided into five areas: critical thinking, figural reasoning, art of arguing, modelling reasoning, problem solving. The objective of the experimentation is sparsa colligo: to go from a discipline-divided knowledge to a transdisciplinary expertise towards the acquisition of the competences.

Keywords: #Thinking minds, problem solving, critical thinking, method, logic



1 Introduzione

1.1 Premessa

Il concetto di competenza e l'attuazione del Piano Nazionale Scuola Digitale (PNSD) hanno posto gli insegnanti di fronte ad una nuova sfida: quella di ripensare la didattica tradizionale e di progettare nuovi percorsi, inizialmente di carattere sperimentale, fondati sull'uso di nuovi strumenti comunicativi. L'innovazione è volta soprattutto a rovesciare radicalmente i ruoli dei protagonisti della didattica: un modello di *web* fondato sul valore dello *user generated content*, infatti, pone fortemente in discussione le tradizionali gerarchie del sapere, rendendo gli alunni veri protagonisti attivi della formazione scolastica. L'innovazione però comporta anche e soprattutto una rivoluzione culturale, passando da una dissociazione e disgiunzione delle due componenti della formazione, scientifica e umanistica, ad una intersezione delle stesse per eliminare "l'imperialismo delle conoscenze calcolatrici e quantitative"¹ a danno delle "conoscenze riflessive e qualitative", e per costruire un'educazione per la vita, in grado di formare uomini pronti ad affrontare la complessità esistenziale e planetaria, procedendo per problemi, teorie e critiche². Si tratterà di collegare lo spirito scientifico con lo spirito filosofico, la cultura umanistica con la cultura scientifica in una palestra del pensiero in cui ogni atleta conosce se stesso attraverso l'esercizio del pensiero flessibile. La scuola secondaria di secondo grado e l'università sono pronte, in qualità di istituzioni formative, ad accogliere la trans-disciplinarietà? Gli alunni sono pronti a gestire questo nuovo orizzonte a carattere metacognitivo?

Per quanto la tecnologia possa essere un valido supporto didattico, spetta tuttavia ai docenti attuare percorsi in grado di stimolare lo sviluppo cognitivo dei discenti, nel comprendere, interpretare e comunicare informazioni, formulare ipotesi, porre in relazione, costruire ragionamenti. Tale percorso inoltre, deve fornire all'alunno un mezzo per scoprire le proprie potenzialità di apprendimento. Imparare a "ragionare" è fondamentale: la logica non può essere considerata una specifica unità didattica da sviluppare in precisi momenti dell'anno scolastico, ma piuttosto come un argomento che richiede una riflessione ed una cura continua, e che potrà essere un prezioso bagaglio per gli studi successive. Peraltra la logica da sola non basta: i docenti devono proporre questioni e situazioni tali da far riflettere gli alunni sulle loro modalità di ragionamento nell'affrontare problemi di diversa natura. L'obiettivo didattico principale dovrà essere il raggiungimento da parte dei discenti di una maggiore consapevolezza in merito alle conseguenze della scelta, perché decidere fra più alternative possibili non dipende solo dalle opzioni che si selezionano ma, soprattutto, dalla complessità delle implicazioni che le caratterizzano. Infatti, attraverso un'esperienza didattica di stampo costruttivista, insegnanti e studenti vogliono diventare coscienti dei problemi della complessità e della complessità dei problemi per contribuire a rifondare il rapporto insegnamento-

¹ E. Morin, *Insegnare a vivere. Manifesto per cambiare l'educazione*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2015

² cf. K. Popper, *Congetture e confutazioni*

apprendimento. È fondamentale innovare la formazione per realizzare l'innovazione attraverso non una riforma o una rivoluzione, ma una vera metamorfosi.³

È fondamentale innovare la formazione per formare all'innovazione. Come procedere? Ecco una proposta.

1.2 Gli attori del nuovo paradigma di apprendimento

Sparsa colligo: passare dalla conoscenza suddivisa in saperi disciplinari alla conoscenza transdisciplinare. Questo l'obiettivo che un docente di matematica e fisica, una docente di italiano e latino e una docente di storia e filosofia si sono posti. Tre professionalità diverse, con esperienze didattiche ed approcci metodologici diversi, ma segnati da un comune denominatore: innovare la formazione per aiutare gli alunni a gestire la complessità. Destinatari di questa esperienza didattica sono stati gli alunni di una classe IV di liceo scientifico, che hanno rovesciato lo schema tradizionale del pensiero caratterizzato da ripetizioni e comandi ed hanno costituito un contesto caratterizzato da flessibilità di pensiero e condivisione.

2 La sperimentazione

2.1 Fase preparatoria

La pianificazione delle attività è iniziata attraverso un *brainstorming*, utile per mettere in campo le caratteristiche di ciascuna delle tre personalità professionali: il rigore scientifico del docente di matematica e fisica si è unito alla didattica digitale innovativa della docente di italiano e latino e alla metodologia metacognitiva della docente di storia e filosofia.

2.2 Primo step

Attraverso un lavoro *on line*, all'interno di una cartella condivisa in Drive, è stata creata dai tre docenti una unità di apprendimento interdisciplinare, con relativa rubrica di valutazione (utilizzando *curriculum mapping* di Impara Digitale).

La stesura dell'unità di apprendimento ha evidenziato innanzi tutto le seguenti competenze di cittadinanza:

Imparare ad imparare: Organizzare il proprio apprendimento, individuando, scegliendo e utilizzando varie fonti e varie modalità di informazione e di formazione (formale, non formale ed informale), anche in funzione dei tempi disponibili, delle proprie strategie e del proprio metodo di lavoro.

Risolvere problemi: Affrontare situazioni problematiche costruendo e verificando ipotesi, individuando le fonti e le risorse adeguate, raccogliendo e valutando i dati, proponendo soluzioni utilizzando, secondo il tipo di problema, contenuti e metodi delle diverse discipline.

Individuare collegamenti e relazioni: Individuare e rappresentare, elaborando argomenti coerenti, collegamenti e relazioni tra fenomeni, eventi e concetti diversi, anche appartenenti a diversi ambiti disciplinari, e lontani nello spazio e

³ E. Morin, *Insegnare a vivere. Manifesto per cambiare l'educazione*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2015

nel tempo, cogliendone la natura sistemica, individuando analogie e differenze, coerenze ed incoerenze, cause ed effetti e la loro natura probabilistica.

Acquisire ed interpretare l'informazione: acquisire ed interpretare criticamente l'informazione ricevuta nei diversi ambiti ed attraverso diversi strumenti comunicativi, valutandone l'attendibilità e l'utilità, distinguendo fatti e opinioni.

Poi sono state individuate specifiche abilità e conoscenze nell'ambito dell'Asse dei Linguaggi, dell'Asse Matematico, dell'Asse Scientifico-Tecnologico. Infine sono stati specificati elementi relativi all'area metodologica, logico-argomentativa, linguistica e comunicativa, scientifica-matematica-tecnologica.

Ogni docente ha indicato la propria sfera di azione nell'ambito della realizzazione della sperimentazione (sia dal punto di vista dei contenuti da creare, sia dal punto di vista degli interventi da proporre in classe). I tre docenti hanno presentato alla classe le finalità della sperimentazione e le metodologie, nonché le attività previste, il calendario e i materiali. In particolare è stato sottolineato il carattere di autoapprendimento dell'intero percorso: le indicazioni metodologiche dei docenti sono state completate da materiali inseriti nella classe virtuale e gli alunni, autonomamente, hanno consultato i materiali, elaborato strategie adeguate per risolvere le simulazioni proposte e descritto i procedimenti logici seguiti nella risoluzione dei quesiti. Per elaborare materiali che potessero essere adeguati al contesto classe, i docenti hanno proposto una simulazione di ingresso: la simulazione, che è stata svolta dagli alunni a casa, *online*, nella piattaforma *Socrative* per testare il progetto sul piano tecnico, metodologico e teorico. I risultati della simulazione sono stati analizzati dai docenti e, anche a seguito di un feedback della classe, sono stati proposti esercizi successivi che non fossero semplicemente un "allenamento" alla prova calendarizzata, ma permettessero di aprire il variegato fronte dei test a risposta multipla, denominati logica o ragionamento logico e, allo stesso tempo, contribuissero a costruire un repertorio di esercitazioni volte a sollecitare ogni alunno alla creazione di una personale metodologia di risoluzione del problema.

2.3 Secondo step

Più che per i punteggi ottenuti dagli alunni, la simulazione di avvio delle attività ha permesso ai docenti di individuare alcune tipologie di quesiti sulle quali proporre degli approfondimenti. Innanzitutto elementi di logica proposizionale (connettivi logici, condizione necessaria, condizione sufficiente, quantificatori) ma anche problemi del "tre semplice" e del "tre composto", sequenze alfanumeriche, sillogismi e comprensione del testo.

Per quanto gli studenti di un liceo scientifico conoscano i connettivi "et", "vel" e "non" e abbiano una certa dimestichezza con le implicazioni (ogni teorema si può ricondurre ad un'implicazione), spesso, di fronte alle proposizioni, non sanno come muoversi verso deduzioni corrette. Le espressioni "condizione sufficiente", "condizione necessaria" così distanti dal parlare comune e che si vorrebbe relegare al solo lessico matematico, sembrano rendere fumosi i quesiti di questo tipo. La conoscenza delle tavole di verità offre un primo riferimento per orientarsi.

Particolare importanza rivestono poi i quesiti in cui si ha a che fare con negazioni logiche. In genere viene richiesto di identificare un enunciato con significato opposto a quello proposto oppure di comprendere il significato di frasi che contengono “non”, “mai”, “nessuno”. Conoscenze base sulle leggi di De Morgan e sui predicati costruiti con quantificatori esistenziali o universali permettono di districarsi con una certa facilità.

Tra i quesiti di *problem solving*, gli alunni trovano difficili, almeno al primo impatto, i problemi di proporzionalità. Per esempio: date due grandezze direttamente o inversamente proporzionali, si conoscono due valori corrispondenti di esse e, noto un altro valore di una di esse, si vuole determinare il corrispondente valore dell'altra. Tale problema, definito del tre semplice, è diretto se le grandezze in esame sono tra loro direttamente proporzionali, inverso se la proporzionalità è inversa. Il problema del tre composto si ha quando invece è data una grandezza direttamente o inversamente proporzionale a due o più grandezze differenti. In questo caso, armati di pazienza e aiutandosi con una tabella, vanno individuate le corrette relazioni tra le grandezze in gioco per tradurre in equazione i dati e giungere alla risposta corretta.

I quesiti relativi a sequenze alfanumeriche richiedono al risolutore di individuare, tra le risposte offerte, l'elemento che completa la sequenza oppure un elemento della sequenza da scartare. In tutti e due i casi è richiesto di determinare il criterio logico-matematico che unisce gli elementi ordinati della sequenza.

Nei quesiti contenenti sillogismi vengono presentate alcune proposizioni collegate, due sono le premesse ed una la conclusione obbligata. Lo studente deve saper scegliere, tra le varie opzioni, la conclusione esatta. La conoscenza dei quattro tipi di sillogismi e la possibilità, per esempio, di visualizzarli con diagrammi di Eulero-Venn abilita ad affrontare questo tipo di quesiti.

Per comprendere un testo è necessario comprenderne la struttura, cogliere il significato di quanto esposto, fare corrette deduzioni a partire dalle premesse esposte, escludere deduzioni non corrette. Le tipologie di testi proposte, come ormai codificato nella letteratura dei test d'ingresso per l'università, differiscono per la richiesta fatta al risolutore:

- Esprimere il messaggio principale
- Trarre una conclusione
- Riconoscere una supposizione implicita
- Rafforzare o indebolire un'argomentazione
- Identificare il passaggio logico errato
- Individuare ragionamenti analoghi
- Individuare e applicare un principio.

2.4 Terzo step

È stata creata una classe virtuale in cui condividere non solo i contenuti (esercizi, spiegazioni), ma soprattutto le indicazioni metodologiche: è stato proposto il *Syllabus* delle esercitazioni, una serie di suggerimenti metodologici,

esempi di risoluzioni di problemi e calendari precisi di impegni *on-line* e in presenza. Si precisa che tutta l'attività si è svolta in modo parallelo alle normali attività didattiche curricolari, risultando pertanto un impegno aggiuntivo per docenti e alunni, ed ha richiesto pertanto uno sforzo organizzativo non indifferente, altro elemento utile e formativo per i ragazzi. È opportuno descrivere la struttura e il contenuto del *Syllabus*, poiché si è trattato di un elemento importante per evidenziare agli alunni l'aspetto pluridisciplinare dell'intervento didattico. Per ogni argomento sono state indicate le competenze da acquisire e i contenuti, nonché i contributi delle singole discipline coinvolte.

Per il **PENSIERO CRITICO**, le competenze da acquisire sono: comprendere un testo, individuare errori lessicali, comprendere un ragionamento per assurdo, analizzare la correttezza di una deduzione.

I contenuti indicati sono: figure retoriche, ragionamento induttivo e deduttivo, ragionamento per assurdo.

La disciplina Italiano contribuisce con i seguenti contenuti: ortografia e morfologia, lessico, forme verbali, sintassi complessa, sinonimi e contrari, le figure retoriche, testi non letterari e informativi, uso corretto di negazioni, principali connettivi logici, strutture sintattiche e semantiche della lingua italiana rilevate in testi di varia tipologia, precisione e ricchezza del lessico.

La disciplina Filosofia contribuisce con i seguenti contenuti: induzione, deduzione, spiegare e interpretare, dialettica e retorica (Sofisti), ironia e maieutica (Socrate), metodo ipotetico-deduttivo (Galileo), dialettica hegeliana, ermeneutica (Gadamer-Ricoeur), agire comunicativo (Habermas-Apel)

La disciplina Matematica contribuisce con i seguenti contenuti: algoritmi e diagrammi di flusso, strutture di controllo.

Per la **LOGICA FIGURALE**, le competenze da acquisire sono: riconoscere regolarità e proprietà, attenzione e concentrazione.

I contenuti indicati sono: sviluppo nel piano di figure solide, simmetrie, rotazioni.

La disciplina Italiano contribuisce con i seguenti contenuti: testi non letterari e informali.

La disciplina Filosofia contribuisce con i seguenti contenuti: segno e significato, enunciati, concetti, universali.

La disciplina Matematica contribuisce con i seguenti contenuti: le trasformazioni geometriche.

Per l'**ARTE DI ARGOMENTARE**, le competenze da acquisire sono: usare propriamente locuzioni con valenza logica (se... allora...; per ogni...; esiste almeno un...), individuare errori di ragionamento; riconoscere ipotesi e tesi di un teorema, saper negare una proposizione.

I contenuti indicati sono: sillogismi, polisillogismi, *modus ponens*, *modus tollens*, teorema diretto, inverso, contrario e contronominale, condizione necessaria e sufficiente.

La disciplina Italiano contribuisce con i seguenti contenuti: principali connettivi logici, strutture sintattiche e semantiche della lingua italiana rilevate in testi di varia tipologia.

La disciplina Filosofia contribuisce con i seguenti contenuti: proposizioni analitiche, sintetiche, protocollari; giudizi analitici a priori, sintetici a posteriori, sintetici a priori; sillogismi.

La disciplina Matematica contribuisce con i seguenti contenuti: la logica delle proposizioni.

Per **RAGIONARE PER MODELLI** le competenze da acquisire sono: saper operare con gli insiemi, matematizzare situazioni, costruire tabelle per sintetizzare dati, individuare chiavi interpretative dei dati, leggere e costruire diagrammi di flusso.

I contenuti indicati sono: la teoria degli insiemi, grafici e tabelle, strumenti algebrici per problemi di primo grado, diagrammi di flusso.

La disciplina Italiano contribuisce con i seguenti contenuti: capacità di sintesi.

La disciplina Filosofia contribuisce con i seguenti contenuti: tipologie di argomenti, ragionamenti dimostrativi, argomentativi fallaci, ragionamento per assurdo.

La disciplina Matematica contribuisce con i seguenti contenuti: insiemi, appartenenza, leggi di De Morgan, equazioni e sistemi di equazioni.

Per **PROBLEM SOLVING** le competenze da acquisire sono: risolvere problemi di calcolo combinatorio e probabilità classica, risolvere problemi di cinematica, applicare strategie già note.

I contenuti indicati sono: relazioni d'ordine, progressioni aritmetiche e geometriche, successioni e sequenze, principio dei cassetti, combinazioni, disposizioni, permutazioni, proporzioni, numeri razionali.

La disciplina Italiano contribuisce con i seguenti contenuti: strutture sintattiche e semantiche della lingua italiana rilevate in testi di varia tipologia.

La disciplina Filosofia contribuisce con i seguenti contenuti: paradosso di Russell; giochi linguistici di Wittgenstein; linguistica computazionale di Chomsky.

La disciplina Matematica contribuisce con i seguenti contenuti: proporzioni, percentuali, calcolo combinatorio, probabilità classica.

2.5 Quarto step

Nel periodo precedente alla prova calendarizzata per febbraio, sono state proposte varie esercitazioni monotematiche, ciascuna costituita da 5 domande con la stessa struttura di quella della prova, esercizi non ripetibili, ma presenti nella *room* di *Socratic* solo per un preciso numero di giorni e poi sostituiti da altri. Questa scelta è stata dettata da due motivazioni. La prima è stata quella di rendere le esercitazioni facilmente fruibili grazie all'*app* gratuita per *smartphone* *Socratic Student* e al numero non elevato di domande. La seconda è stata di ordine metodologico e volta a favorire un approccio graduale alle diverse tipologie di quesiti.

Esercitazione RM - soluzioni by MGS - Sat Mar 18 2017

Show Names
 Show Answers

Name ↑	Score (%)	#1	#2	#3	#4	#5
*****	100%	D	B	A	B	B
*****	60%	D	B	E	E	B
*****	100%	D	B	A	B	B
*****	60%	D	A	A	E	B

Fig. 1.

Feedback di una esercitazione monotematica svolta on-line su Socrative

Il 18 febbraio gli alunni hanno affrontato la prima prova in laboratorio di informatica, accedendo dal proprio computer ad una diversa *room* di *Socrative*. Ogni alunno ha avuto 100 minuti per svolgere 60 quesiti.

La prova è stata strutturata sulla base delle recenti normative dei test di ingresso alle facoltà universitarie.

Obiettivi della prova: potenziamento delle capacità di analisi e di comprensione; elaborazione del pensiero critico; imparare ad imparare; risolvere problemi; individuare collegamenti e relazioni; acquisire ed interpretare l'informazione; competenze dell'asse dei linguaggi; competenze dell'asse matematico e scientifico.

I 60 quesiti riguardavano: il pensiero critico (15), la logica figurale (5), l'arte di argomentare (5), ragionare per modelli (10), *problem solving*(15).

La modalità di somministrazione, scelta tra quelle permesse dalla piattaforma, è stata di navigazione aperta con randomizzazione delle domande e delle risposte e la visualizzazione finale del numero di domande affrontate e della percentuale di domande svolte correttamente.

2.6 Quinto step

Analisi della prova: in itinere i docenti che hanno somministrato la prova hanno notato che, malgrado le oggettive difficoltà tecniche dovute alla lentezza o interruzione della connessione, gli alunni hanno fronteggiato al meglio la situazione, rispettando i tempi e gestendo nei limiti del possibile, lo stato di ansia.

Dopo la conclusione della prova si è effettuato un feedback fra alunni e un brainstorming fra i docenti, nonché un'attenta lettura dei risultati.

Sono stati dedicati inoltre momenti alla interpretazione dei risultati con gli alunni.

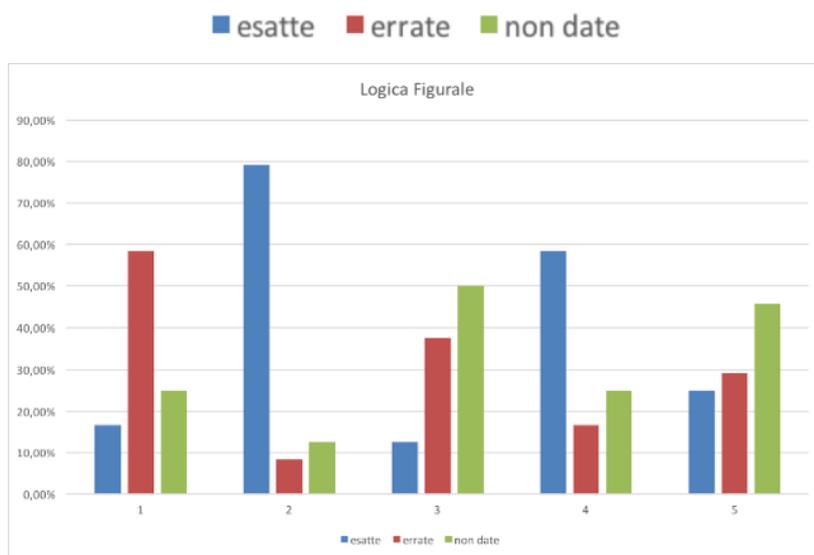


Fig. 2
Risultato dei quesiti relativi alla logica figurale.

2.7 Sesto step

La preparazione per la prova finale della sperimentazione è stata segnata da momenti di condivisione dell'esperienza con la metodologia *peer to peer* secondo due diverse modalità. Partendo da particolari quesiti della prova di febbraio risultati ostici, gli alunni, affiancati dai docenti, hanno "spiegato" in classe il procedimento seguito nella risoluzione del problema. Sono stati quindi elaborati, da un'alunna, dei brevi video *tutorial* visionabili su *youtube*. Tutte le esercitazioni *on-line* preparate dai docenti sono state corredate dalla spiegazione del procedimento risolutivo, curata di volta in volta da un alunno, prima di essere caricate su *Socrative*.

Successivamente sono state messe a disposizione della classe sempre per un tempo limitato. Al termine dell'esercitazione quindi, era possibile non solo ricevere un *feedback* sulla percentuale di risposte corrette, ma anche leggere la descrizione di un possibile procedimento risolutivo.

A titolo di esempio ecco un quesito di *problem solving* che verte sul calcolo combinatorio, argomento curriculare affrontato in classe.

Quanti oggetti possiamo differenziare con delle targhe di due simboli di cui il primo è una lettera dell'alfabeto latino e il secondo è una cifra da 0 a 9? Le alternative sono:

(a) 220 (b) 240 (c) 260 (d) 230 (e) 250. La risposta esatta è la (c).

Il ragionamento scritto da Maria Grazia e che motiva tale scelta è il seguente: "Sappiamo che nella targa possiamo disporre al primo posto di una tra le 26 lettere diverse e al secondo posto una tra le 10 cifre. Per calcolare in quanti modi diversi possiamo ottenere la targa, si procede facendo il prodotto tra le disposizioni semplici di 26 in classe 1 (numero di modi con cui si può scegliere

una lettera tra 26) e le disposizioni semplici di 10 in classe 1 (numero di modi con cui si può scegliere una cifra tra 10). Quindi $26!/(1! \times 25!) \times 10!/(1! \times 9!) = 260$. La scelta giusta è quindi la (c)".

Il lessico usato dall'alunna risente evidentemente dei freschi studi di calcolo combinatorio, la spiegazione è forse eccessivamente lunga, ma risulta comunque efficace per i compagni di classe.

Si è trattato di occasioni formative importanti che hanno testimoniato come ognuno può arrivare alla risoluzione di un problema con un metodo personale, ma comunque efficace. Questo aspetto ha permesso agli alunni di sentirsi veri protagonisti del proprio apprendimento.

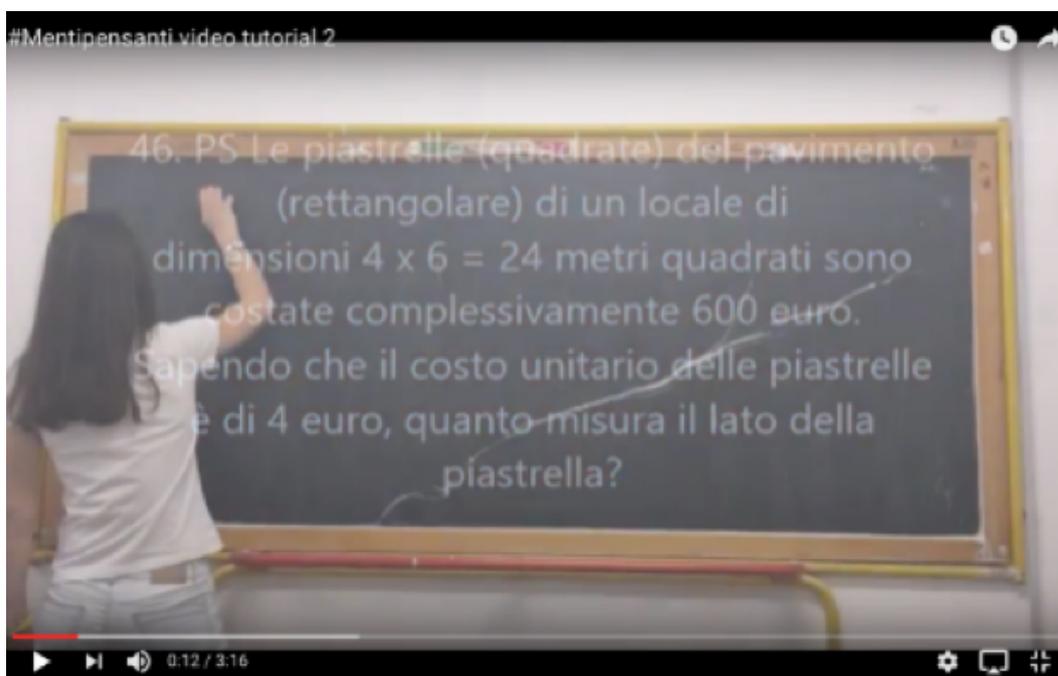


Fig. 3

Videotutorial realizzato in classe da un'alunna (spiegazione di una procedura di problem solving)

2.8 Settimo step

La prova finale è stata svolta in classe, con testo cartaceo per evitare le problematiche dovute alla lentezza della connessione e per garantire una maggiore serenità ai ragazzi. La prova ha avuto la stessa struttura delle precedenti.

2.9 Risultati

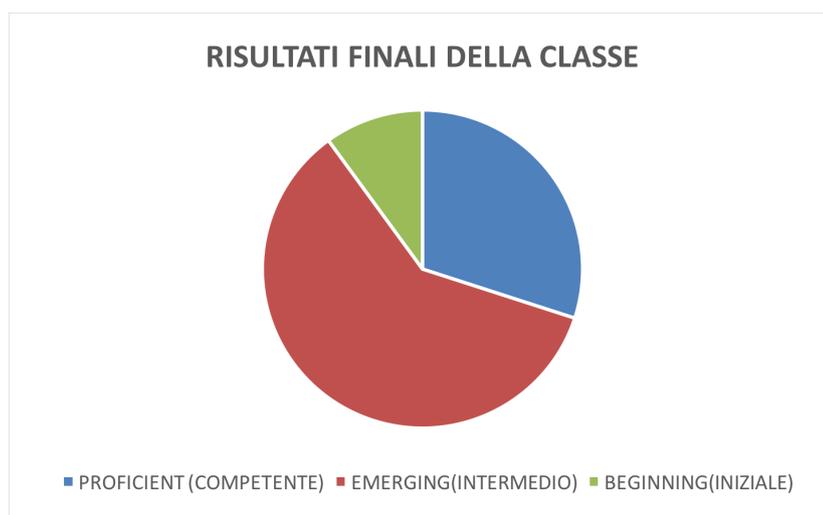
In questo primo anno di sperimentazione sono state proposte delle prove in modalità diverse, anche per scegliere successivamente quelle più idonee (sia nel contenuto che nella modalità di somministrazione). Si è partiti da una simulazione svolta *on-line* a casa, per poi proporre una *on-line*, ma svolta a scuola, con tutte le difficoltà oggettive di connessione e infine una in modalità

cartacea in classe. Dal punto di vista contenutistico si sono proposte difficoltà crescenti nella formulazione delle domande. È questo il motivo per il quale, oltre che una dettagliata griglia di valutazione che indichi le competenze acquisite da ogni alunno nel corso del progetto, si è pensato di elaborare una rubrica di valutazione che si conclude con un punteggio, ma non relativo ad una specifica prova, bensì a tutto il processo. Di seguito gli indicatori e i descrittori considerati, con specifici livelli di acquisizione delle competenze:

	PROFICIENT	EMERGING	BEGINNING
VALUTAZIONE DEL PROCESSO (rispetto dei tempi; autonomia di analisi e studio; <i>problem setting</i> ; <i>problem solving</i>)	<ul style="list-style-type: none"> Il periodo necessario per la realizzazione è conforme a quanto indicato e l'allievo ha utilizzato in modo efficace il tempo a disposizione, anche svolgendo attività ulteriori; l'allievo è completamente autonomo nello svolgere il compito, nella scelta degli strumenti e/o delle informazioni, anche in situazioni nuove; l'allievo identifica con chiarezza il problema e le possibili soluzioni proponendole ai compagni; l'allievo sa identificare le proposte corrispondenti ad una pluralità di parametri (praticabilità, qualità, sicurezza...). 	<ul style="list-style-type: none"> il periodo necessario per la realizzazione è leggermente più ampio rispetto a quanto indicato e l'allievo ha svolto le attività minime richieste; l'allievo ha una minima autonomia nello svolgere il compito, nella scelta degli strumenti e/o delle informazioni e necessita spesso di spiegazioni integrative e di guida; l'allievo identifica gli aspetti più evidenti del problema e persegue la soluzione più facile. 	<ul style="list-style-type: none"> il periodo necessario per la realizzazione è considerevolmente più ampio rispetto a quanto indicato e lo studente ha affrontato con superficialità la pianificazione delle attività disperdendo il tempo a disposizione; -l'allievo non è autonomo nello svolgere il compito, nella scelta degli strumenti e/o delle informazioni e procede, con fatica, solo se supportato; l'allievo, se da solo, non identifica il problema e non propone ipotesi di soluzione. persegue la soluzione indicate.

	PROFICIENT	EMERGING	BEGINNING
<p>DIMENSIONE METACOGNITIVA</p> <p>(consapevolezza riflessiva e critica; capacità di trasferire le conoscenze acquisite; capacità di cogliere i processi culturali, scientifici e tecnologici sottostanti al lavoro svolto; creatività; autovalutazione; curiosità)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'allievo riflette su ciò che ha imparato e sul proprio lavoro cogliendo appieno il processo personale svolto, che affronta in modo particolarmente critico; • l'allievo ha un'eccellente capacità di trasferire saperi e saper fare in situazioni nuove, con pertinenza, adattandoli e rielaborandoli nel nuovo contesto, individuando collegamenti; • l'allievo è dotato di una capacità eccellente di cogliere i processi culturali, scientifici e tecnologici che sottostanno al lavoro svolto; • l'allievo elabora nuove connessioni tra pensieri e oggetti, innova in modo personale il processo di lavoro, realizza produzioni origina; • l'allievo dimostra di procedere con una costante attenzione valutativa del proprio lavoro e mira al suo miglioramento continuativo; • l'allievo ha una forte motivazione a esplorazione e approfondimento del compito; si lancia alla ricerca di informazioni/ alla ricerca di dati ed elementi che caratterizzano il problema; pone domande 	<ul style="list-style-type: none"> • L'allievo coglie gli aspetti essenziali di ciò che ha imparato e del proprio lavoro e mostra un certo senso critico; • l'allievo trasferisce saperi e saper fare essenziali in situazioni nuove, anche se non sempre con pertinenza; • l'allievo coglie i processi culturali, scientifici e tecnologici essenziali che sottostanno al lavoro svolto; • l'allievo propone connessioni consuete tra pensieri e oggetti, dà minimi contributi personali e originali al processo di lavoro e nel prodotto; • l'allievo svolge in maniera minimale la valutazione del suo lavoro e gli interventi di correzione; • l'allievo ha una motivazione minima all' esplorazione del compito: solo se sollecitato ricerca informazioni/dati ed elementi che caratterizzano il problema. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'allievo presenta un atteggiamento operativo; -l'allievo applica saperi e saper fare acquisiti nel medesimo contesto, non sviluppando i suoi apprendimenti; • l'allievo individua in modo lacunoso i processi sottostanti il lavoro svolto; • l'allievo non esprime nel processo di lavoro alcun elemento di creatività; • la valutazione del lavoro da parte dell'allievo avviene in modo lacunoso; • l'allievo sembra non avere motivazione all'esplorazione del compito.

	PROFICIENT	EMERGING	BEGINNING
RISULTATO DELLE PROVE	Risultati decisamente migliori rispetto alla simulazione iniziale, aumento della percentuale di risposte corrette e diminuzione della percentuale di risposte non date, l'allievo ha svolto tutte le prove on-line, la percentuale di risposte corrette nelle prove on-line è stata superiore al 50%, ha redatto la soluzione di almeno una prova on-line.	Risultati lievemente migliorati rispetto alla simulazione iniziale, aumento nella percentuale di risposte corrette o diminuzione della percentuale di risposte non date, l'allievo ha svolto gran parte delle prove on-line, la percentuale di risposte corrette nelle prove on-line è stata tra 20% e 50%, non ha redatto le soluzioni delle prove on-line.	Risultati invariati rispetto alla simulazione iniziale; l'allievo ha svolto alcune prove on-line, la percentuale di risposte corrette nelle prove on-line è stata inferiore al 20%, non ha redatto le soluzioni delle prove on-line.



Peraltro i risultati specifici delle prove evidenziano un concreto miglioramento nello svolgimento dei quesiti di Pensiero critico e *problem solving*, risultato molto significativo se si considera che non si tratta di ambiti afferenti ad una specifica disciplina. Ne consegue che l'obiettivo principale della sperimentazione è stato pienamente raggiunto. Sarà tuttavia opportuno per il prossimo anno, organizzare in modo diverso (soprattutto dal punto di vista della scansione temporale) la somministrazione delle prove, eventualmente coinvolgendo l'intero consiglio di classe.

2.10 Ottavo step

Feedback conclusivo degli alunni: in un *padlet* gli alunni hanno espresso le proprie impressioni sulla sperimentazione. Si è preferita tale modalità per dare maggiore spazio alla creatività e alla interpretazione dei singoli. I risultati sono

visionabili al seguente link: https://padlet.com/piera_schiavone2/c6qyc30puqtf. In sintesi ecco le impressioni prevalenti: gli alunni hanno “letto” questo progetto come una sfida da accettare, affrontare e portare avanti, malgrado le oggettive difficoltà dovute al tempo, dato che gli impegni scolastici e quelli di alternanza scuola-lavoro segnano profondamente i pomeriggi degli alunni di quarta classe del liceo scientifico. I ragazzi hanno apprezzato i materiali, le metodologie, gli argomenti: unico elemento di criticità evidenziato da tutti è stato il fatto di non aver dedicato un tempo adeguato alle esercitazioni. Hanno inoltre evidenziato che la vera novità del progetto sta nel fatto di aver offerto loro la possibilità di comprendere che le materie non sono mondi distanti e distinti, ma contribuiscono tutte, con i loro specifici contenuti, alla crescita culturale e alla acquisizione di un metodo, che comunque deve essere personale, per avere adeguata efficacia. Gli alunni si sono messi in gioco, hanno costruito le loro conoscenze per problemi ed errori, sperimentando il pensiero flessibile e prospettico ed hanno compreso che esercitare il pensiero critico, ragionare per modelli, “pensare con la propria mente” sono percorsi fondamentali per raggiungere il successo formativo e professionale. Di seguito si propongono alcune opinioni degli alunni, inserite nel padlet appositamente creato per un concreto e condiviso feedback. Silvia scrive: *Today we tend to relate subject like "Literature" only to old poets, "Maths" to unbearable numbers and variables, "Philosophy" to unspeakable thought. This project is the proof that this is absolutely incorrect. #Mentipensanti in the proof that three "separated" subject are not separated at all... if only you remember to open your eyes, or better, your mind.* Maria Paola scrive: *Accogliere una sfida: è questa la possibilità che si è presentata davanti ai nostri occhi grazie al progetto #MENTIPENSANTI. Una novità che ci ha richiesto fin dall'inizio di metterci in gioco, di tentare e spesso di sbagliare, arrivando a capire fino a che punto siamo capaci di spingerci se ragioniamo con la nostra testa, e nient'altro. La proposta di 'pensare con la propria mente' può apparire a prima vista scontata, e tuttavia non lo è affatto. Esercitare spirito critico, ragionare per modelli, argomentare, non sono ciò che ci fa rispondere alle domande di un test, ma ciò che attraversa tutte le discipline e che le congiunge. E infine Francesca scrive: *L'esperienza fatta in questo periodo, seppur breve, è stata molto intensa in quanto abbiamo dovuto affrontare quesiti di un genere diverso dal solito che ci viene proposto, elemento che sicuramente è un ottimo insegnamento per il futuro. Inoltre sono convinta di essere migliorata notevolmente sia nel ragionamento, sia nello svolgimento dell'esercizio, in quanto qualche giorno fa ho provato, senza alcuna aspettativa, a svolgere la simulazione del test d'ingresso per la facoltà che mi piacerebbe frequentare, e sono riuscita ad ottenere il massimo in domande di logica.**

2.11 Riflessioni

Sicuramente una buona connettività e una navigazione protetta e possibilmente con autenticazione degli utenti, oltre agli ambienti *cloud* per poter lavorare e condividere materiali possibilmente amministrati dall'istituto, oltre ai dispositivi funzionanti con le applicazioni necessarie, questi sono tutti elementi importanti e utili per realizzare l'innovazione, ma evidentemente non indispensabili. L'innovazione parte dagli attori del processo di apprendimento: i docenti e gli

alunni. Anche solo con una vecchia lavagna di ardesia e con gli *smartphone* di docenti e studenti è possibile puntare al cambiamento. Se poi un alunno afferma che nel pomeriggio ha dedicato del tempo a svolgere esercizi *on line* sul proprio *smartphone* per il progetto #mentipensanti, allora questo significa aver fatto centro. Spesso si è portati a considerare gli alunni poco interessati, poco attenti, passivi, demotivati, incapaci di farsi coinvolgere nel dialogo educativo, rinunciando a priori a diventare protagonisti e co-produttori del percorso formativo. Un intervento sul piano metodologico può modificare l'orizzonte educativo: se agli alunni si offre la possibilità di riflettere, di muoversi nel campo della conoscenza, con elementi stimolanti, interessanti e coinvolgenti, da loro non sarà richiesto più tempo per lo studio, ma piuttosto sarà richiesto un momento di confronto e di condivisione dell'esperienza formativa. Un'azione sulla motivazione metacognitiva precisa senso e significato alla formazione scolastica: gli alunni infatti hanno messo da parte i libri di preparazione ai test universitari ed hanno compreso che non serve allenarsi per superare le prove di ingresso, ma serve imparare a "pensare", serve costruire e adottare un metodo che possa garantire la risoluzione dei problemi non per imitazione, ma per creazione. Questo progetto infatti punta proprio a dare spazio alla creatività, all'intuito, alla acquisizione di conoscenze e alla "autentica certificazione delle competenze acquisite" non attraverso un semplice documento che la attesti, ma attraverso risultati concreti e metodologie applicabili in contesti altri.

3 Conclusioni

Perché questo progetto è stato proposto ad alunni di quarta superiore? Per loro l'accesso all'università è ancora lontano, la maggior parte non ha le idee chiare su come e se proseguire gli studi. Quindi perché sceglierli come destinatari del percorso didattico? Perché sottoporre ad un lavoro in più ragazzi già impegnati in attività di Alternanza Scuola Lavoro in orario extracurricolare?

La nascita dell'esperienza è sicuramente da rintracciare nei rapporti di stima, stretta collaborazione e amicizia personale tra i docenti che lo hanno proposto. Ma non basta.

Ci sono motivazioni di carattere metodologico e pedagogico.

Nel corso del quarto anno di scuola secondaria superiore i docenti possono porre delle basi ai processi di orientamento e auto-orientamento piuttosto che di addestramento per i test di ammissione alle facoltà a numero programmato. Durante questa fase di costruzione del profilo educativo e professionale dello studente, un percorso sulla strutturazione e sperimentazione del pensiero logico e delle sue implicazioni guida lo studente a:

- costruire uno stile di apprendimento personale e autonomo
- assumere un metodo di lavoro strutturato e condiviso
- divenire consapevole delle proprie risorse e dei propri limiti
- implementare le proprie conoscenze attraverso il confronto e il dialogo
- significare la relazione docente-discente attraverso la ricerca per problemi, tentativi ed errori

- delineare gli strumenti per pensare come preconditione all'esercizio del sapere
- costruire una rete dei saperi trans-disciplinari abbattendo le barriere disciplinari
- esercitare il pensiero convergente e divergente
- imparare a costruire un ragionamento rigoroso e strutturato
- esercitare la capacità di analizzare e risolvere un problema in una dimensione prospettica.

Tale percorso didattico innovativo ha anche motivazioni a carattere teoretico ed epistemologico: il sistema delle conoscenze e le modalità di pensiero devono essere caratterizzate da una intersezione tra cultura umanistica e cultura scientifica, capitalizzando le capacità analitiche e sintetiche per cogliere la complessità della realtà. Inoltre l'insegnamento vuole essere attivo ovvero in grado non solo di trasferire specifici contenuti, ma anche e soprattutto di apprendere e sperimentare strutture mentali aspecifiche, per consentire agli allievi di esplorare ambienti sconosciuti, utilizzando i compiti di realtà.

Dunque, in un contesto educativo che sperimenta la trasversalità della formazione diventa necessario assumere la consapevolezza di un cambiamento di paradigma nel sistema formativo scolastico e nella quotidianità dell'esistenza, in modo che gli alunni possano intravedere le connessioni epistemologiche tra discipline, considerate fino ad allora mutuamente escludentesi e i docenti possono avviare un serio lavoro sui processi metacognitivi, che attraversano trasversalmente le discipline. Peraltro in una quarta classe di un liceo gli obiettivi formativi e didattici prevedono un esercizio delle abilità argomentative, risolutive e critiche necessarie per l'esercizio del pensiero aperto, *multilogical* e *multiperspectival*, che risponde alle sfide, che è aperto ad una molteplicità di percorsi e che include una pluralità di punti di vista e prospettive.

Infine le novità, che stanno caratterizzando la scuola italiana, evidenziano una necessità ormai inalienabile ovvero ri-motivare e ri-fondare l'apprendimento: gli studenti slegano l'apprendimento scolastico da quello esistenziale *long life*, guardano prevalentemente il risultato e non il processo, valorizzano l'aspetto quantitativo del sapere e non la qualità del percorso di costruzione dello stesso. Allora la proposta è di preparare gli studenti al pensiero critico con esempi di ragionamento corretto e scorretto, con costruzioni di inferenze valide, con esercizi di giudizio, praticando una "bottega del pensiero"; un laboratorio utile non solo alla costruzione di una comunità di cittadini, ma anche alla determinazione di persone che esercitano la critica ovvero la capacità di discernere, analizzare, distinguere, giudicare, investigare, esaminare, domandare per implementare il capitale cognitivo attraverso una intersezione tra i meccanismi del pensiero critico e le forme della intelligenza emotiva.

Vogliamo implementare il capitale cognitivo individuale in capitale umano sociale? Un'occasione da non perdere!

4 In prospettiva

Il fatto che i docenti appartengano allo stesso consiglio di classe è un prerequisito indispensabile per l'attuazione del progetto?

Probabilmente no, grazie al supporto dell'*e-learning*. In prospettiva potrebbe essere interessante attuare il percorso formativo in altre classi quarte dello stesso istituto o di altri istituti, attività che potrebbe arricchire il percorso di ulteriori stimoli, punti di forza. Per attuare una condivisione concreta dell'esperienza e garantire la conseguente replicabilità, i docenti hanno intenzione di inserire in una piattaforma *e-learning* i materiali, i risultati dell'esperienza, le criticità e di proporla in contesti diversi dalla scuola in cui attualmente insegnano, per illustrare l'attività ad altri docenti ed invitarli a fare una esperienza analoga, per poi arrivare ad un confronto costruttivo delle azioni didattiche. Si potrebbe peraltro incrementare il *repository* delle prove con sezioni legate a singoli ambiti disciplinari universitari, in modo da estendere l'attività anche alle classi quinte.

I docenti vogliono però evitare di trasformare l'esperienza in un corso di preparazione per il superamento dei test universitari, vogliono invece "arrivare a nuove idee grazie agli 'errori giusti', evitando quelli "sbagliati"⁴.

RIQUADRO 1: Bacheca della classe virtuale creata per il progetto

easyclass Home Corsi Gruppi I Miei File Posta

Bacheca della classe #MENTIPENSANTI: #MENTIPENSANTI

Scrivi un aggiornamento

Publica annuncio

Carica I Miei File Link **Publica**

Piera Schiavone
#MENTIPENSANTI
Destinatari

Il corso, in modalità e-learning, è rivolto a tutti gli alunni della classe IV C

Caratteristiche generali:
Risolvere i test è segno di preparazione e di metodo, implica inoltre lo sviluppo di abilità che consentono un corretto ragionamento, una efficace gestione del tempo, nonché il controllo dell'ansia.

Obiettivi:
POTENZIAMENTO DELLE CAPACITÀ DI ANALISI E COMPrensIONE
ELABORAZIONE DEL PENSIERO CRITICO
IMPARARE AD IMPARARE
RISOLVERE PROBLEMI
INDIVIDUARE COLLEGAMENTI E RELAZIONI
ACQUISIRE ED INTERPRETARE L'INFORMAZIONE
COMPETENZE DELL'ASSE DEI LINGUAGGI
COMPETENZE DELL'ASSE MATEMATICO E SCIENTIFICO

Metodologia e durata:
lo studente dovrà accedere alla piattaforma <https://www.socrative.com/> inserire il codice classe che sarà fornito dai docenti e svolgere le simulazioni.
Ogni simulazione sarà costituita da 60 domande da svolgere in 100 minuti.

Contenuti:
I quesiti on line (alcuni formulati in inglese) riguardano:
pensiero critico (15)
logica figurale (5)
arte di argomentare (15)
ragionare per modelli (10)
problem solving (15)

Verifica e criteri di valutazione:
Sono previste:
una prova il 21 febbraio
una prova il 21 marzo
da svolgere in laboratorio di informatica
Le prove saranno valutate (nelle materie italiano, matematica, filosofia) secondo una rubrica di valutazione specifica per prova autentica (cioè verifica COMPLESSA, NON DISCIPLINARE, in grado di certificare le competenze acquisite).

Codice di Accesso
F15N-8W4C [Ripristina?](#)

Chiedi ai tuoi studenti di inserire questo codice di accesso per entrare nella tua classe su easyclass.com. In alternativa, puoi invitarli tu tramite la scheda "Aggiungi membri".

⁴ P. Legrenzi, 6 esercizi facili per allenare la mente, R. Cortina Editori, 2015

RIQUADRO 2: File contenente suggerimenti di metodo, inserito in classe virtuale come momento di autoformazione

PROFF. ATTOLLINO-LEONE-SCHIAVONE

INFORMAZIONI DI CARATTERE GENERALE

- Durante lo svolgimento del test non è consentito l'uso di calcolatrici e di libri
- Il test deve essere svolto in max 100 minuti
- Il test sarà valutato in base a precise rubriche di valutazione
- Alla fine del test compare la percentuale delle risposte corrette
- Al singolo alunno sarà fornito l'elenco delle risposte errate
- Ogni quesito prevede UNA SOLA RISPOSTA CORRETTA

SUGGERIMENTI DI METODO PER AFFRONTARE LO STUDIO

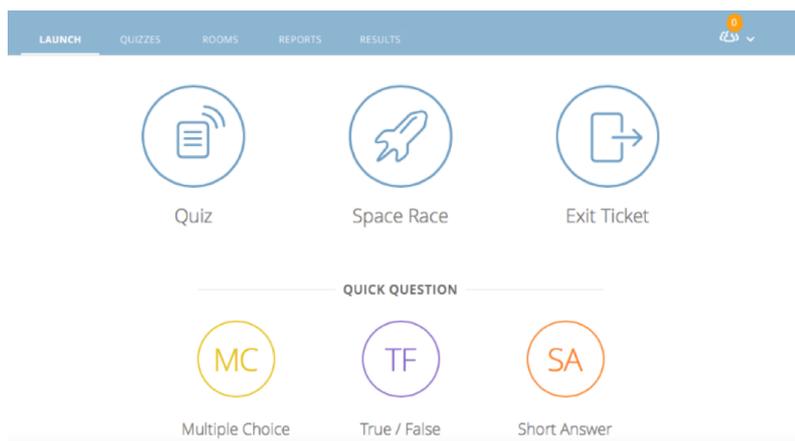
- leggere il Syllabus
- **SISTEMATICITA'**: non si può studiare sui quesiti, bisogna studiare in modo sistematico la singola materia in modo da acquisire padronanza dei concetti, elemento che consente di affrontare le molteplici varianti presenti nei quesiti
- **SPIRITO CRITICO**: non bisogna imparare a memoria risposte o casistiche, è opportuno che ci sia comprensione degli argomenti e ragionamento
- **SINTESI**: uno studio adeguato, fatto in maniera ragionata e critica, porta alla sintesi completa.
- **ESERCIZI MIRATI**: non si può avere il tempo di svolgere numerosi esercizi, piuttosto bisogna comprendere **COME SI SVOLGE L'ESERCIZIO**. Ecco perché è opportuno prepararsi prima attraverso lo studio della teoria e di esempi significativi, per poi passare allo svolgimento dei singoli esercizi.

SUGGERIMENTI DI METODO PER AFFRONTARE I QUESITI:

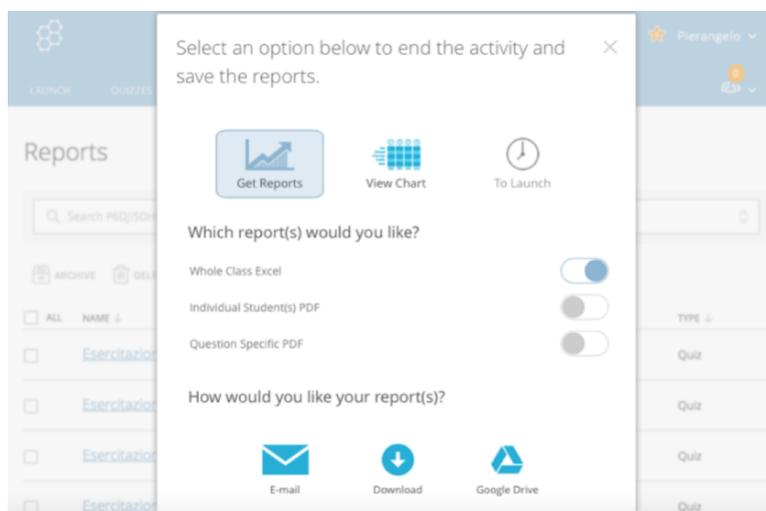
- Talvolta la risposta richiede un ragionamento che si basa su calcoli, quindi è opportuno disporre sempre di un foglio e di una penna;
- Leggere attentamente il quesito: ogni singola parola può fornire una informazione importante per rispondere correttamente
- Tentare di classificare il quesito, nel senso che bisogna comprendere qual è l'argomento generale su cui verte, per poi richiamare alla mente "le conoscenze utili" ed essere in grado di passare dal generale al particolare. (se capisco che il quesito riguarda la trigonometria, tento di ricordare i principali teoremi studiati e le applicazioni geometriche della trigonometria). In caso di risposta errata, sarà possibile comprendere quale argomento è opportuno ripetere e/o approfondire
- imparare a gestire il fattore tempo: le domande sono 60 e il tempo a disposizione è pari a 100 minuti, significa che ad ogni domanda si potrà dedicare al max 1,5 minuti (lettura inclusa). Diventa fondamentale dunque abituarsi a fare calcoli rapidamente e a scegliere i metodi più opportuni (talvolta ragionare su un disegno o attraverso un diagramma fa risparmiare tempo)
- imparare a privilegiare "il ragionamento aperto", cioè cercare di rispondere autonomamente alla domanda e poi scegliere la risposta, fra le opzioni offerte. Se ci sono risposte molto simili, è preferibile evitare di cambiare idea in modo puramente istintivo: se il primo ragionamento aveva portato a scegliere la risposta A, meglio lasciare quella, piuttosto che cambiare all'ultimo momento.
- imparare ad escludere le risposte per motivi puramente logici. Se la risposta A implica la risposta B, la A non può essere giusta.

RIQUADRO 3:**La piattaforma Socrative**

È una piattaforma web gratuita per creare e somministrare prove sotto forma di test o anche sondaggi. È utilizzabile con un browser all'indirizzo <http://www.socrative.com>. Se la si utilizza in versione *teacher* è necessaria una registrazione, se la si utilizza in versione *student* è necessario solo conoscere il nome della *room* per accedere ai quiz che il proprio insegnante ha predisposto. Sono a disposizione per *smartphone* sia un'app *Socrative Teacher* che una *Socrative Student*.



L'applicazione può essere utilizzata in classe, in un laboratorio informatico o anche a distanza. A questa importante caratteristica si aggiunge sia la possibilità di impostare tre differenti tipi di prove (a risposta multipla, vero/falso e con risposta aperta) che il vantaggio di ottenere i report dei quiz con formati differenti.



I menù dell'applicazione sono intuitivi e ben organizzati, sia nella versione *teacher* che *student*. I quiz possono essere creati in precedenza e sottoposti agli studenti aprendo una *room* per un determinato tempo. Infine il docente può vedere e monitorare i progressi degli alunni che svolgono un test nella *room* ad esso dedicata.

Bibliografia

- [1] P.Legrenzi-A.Massarenti, (2015) - *La buona logica. Imparare a pensare*, R. Cortina Editore
- [2] P. Legrenzi, (2015) - *6 esercizi facili per allenare la mente*, R. Cortina Editore
- [3] P. Dominici, (2016) - "*Educare alla complessità*", in *Nòva Il Sole 24 ore* n.566 11-12-2016
- [4] E. Morin, (2000) - *La testa ben fatta*, Raffaello Cortina Editore
- [5] E. Morin, (2015) *Insegnare a vivere. Manifesto per cambiare l'educazione*, R. Cortina Ed.
- [6] VS. Stenberg, (1998) - *Stili di pensiero*, Erickson
- [7] Z. Bauman, (2002) - *Modernità liquida*, Laterza, Roma-Bari
- [8] T. Montefusco, (2013) - *Le competenze. Programmare valutare certificare*, Edizioni dal Sud
- [9] K. Popper, (1972) - *Congetture e confutazioni*, Il Mulino
- [10] <http://pierodominici.nova100.ilsole24ore.com/2016/12/19/i-rischi-di-un-innovazione-esclusiva-e-i-germi-del-conformismo-pianoinclinato/> (ultimo accesso aprile 2017)
- [11] http://www.invalsi.it/invalsi/ri/pisa2012/documenti/Problem_Solving.pdf (ultimo accesso aprile 2017)
- [12] <http://www.orientamentoinrete.it/> (ultimo accesso aprile 2017)
- [13] <http://www.cie.org.uk/programmes-and-qualifications/cambridge-advanced/cambridge-pre-u/curriculum/> (ultimo accesso aprile 2017)

Biografie

Piera Schiavone: Laureata in Lettere classiche con orientamento storico-archeologico, insegna italiano e latino nel liceo scientifico. Collabora con Indire come tutor formatore nei corsi per docenti e in Avanguardie Educative; attraverso la frequenza di master, si è specializzata nell'ambito della formazione docenti. Collabora con Accademia del Levante (centro di formazione certificata) in qualità di esaminatrice EIPASS, facilitatrice nei corsi EPICT e come progettista ed esperto in corsi di formazione rivolti al personale docente. È stata iscritta al registro internazionale IET fino al 2016.

Sede di servizio: I.I.S.S. "R. Canudo" Gioia del Colle (BA)

Email: piera.schiavone2@gmail.com

Angela Teresa Attollino: Laureata in Filosofia con indirizzo storico-filosofico, attualmente insegna presso il Liceo scientifico. Ha conseguito titoli di specializzazione e perfezionamento nell'ambito della didattica dell'insegnamento con sempre maggiore interesse per la didattica innovativa. Interagisce con la rivista *on-line* Logoi.ph per la sezione Didattica contribuendo alla diffusione delle Buone pratiche dell'insegnamento e attualmente è iscritta ad

un protocollo di ricerca dell'Università di Udine sulle competenze interculturali. È stata iscritta al registro internazionale IET fino al 2016.

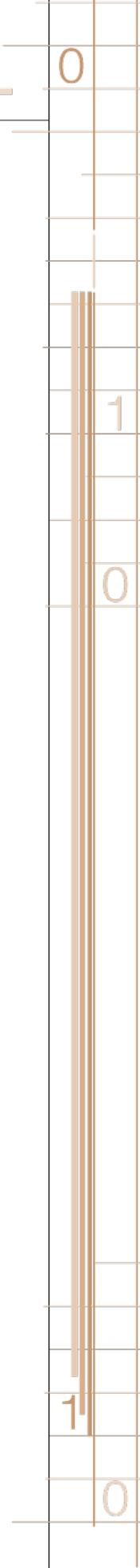
Sede di servizio: I.I.S.S. "R. Canudo" Gioia del Colle (BA)

Email: liliana.attollino@canudo.gov.it

Pierangelo Leone: Laureato in Matematica con indirizzo didattico, insegna matematica e fisica presso il Liceo scientifico. Appassionato di didattica, è stato formatore in corsi per docenti nelle scuole dove ha insegnato, è stato esperto in corsi PON di matematica per la scuola primaria e secondaria, ma anche di matematica e fisica per docenti. È stato promotore nella sua scuola di un corso di preparazione ai test d'ingresso per l'università. È stato esaminatore e responsabile di test center AICA per ECDL, è formatore ed esaminatore Cisco IT Essential. È iscritto al registro internazionale IET.

Sede di servizio: I.I.S.S. "R. Canudo" Gioia del Colle (BA)

Email: pierangelo.leone@gmail.com



An innovative approach to School-Work turnover programme with Educational Robotics

Lorenzo Cesaretti, Michele Storti, Elisa Mazzieri, Laura Screpanti, Antonio Paesani, David Scaradozzi

Sommario

Questo articolo presenta un approccio innovativo all'Alternanza Scuola-Lavoro basato sulla Robotica Educativa e sul project-based learning. All'inizio del 2017 (da gennaio ad aprile), il Liceo Volta-Fellini di Riccione ha proposto ai propri studenti un'attività pratica connessa alle STEM, come Alternanza Scuola-Lavoro. Questo corso di Robotica è stato progettato e sviluppato da TALENT srl e dall'Università Politecnica delle Marche con 3 obiettivi principali: accrescere l'interesse verso le discipline STEM, migliorare la capacità degli studenti di lavorare in gruppo, accrescere la consapevolezza degli alunni verso i propri processi cognitivi attraverso la valutazione dell'Alternanza. Sono state coinvolte 6 classi, 3 dell'indirizzo Scientifico e 3 dell'indirizzo Scienze Applicate. Il raggiungimento degli obiettivi è stato determinato raccogliendo dati dagli studenti per mezzo di questionari di autovalutazione; gli studenti hanno espresso il loro livello di accordo alle domande del questionario con una scala Likert a 5 punti: ogni gruppo di domande associato ad uno specifico obiettivo con una media maggiore di 3 permette di considerare quella finalità progettuale raggiunta. Avendo ottenuto come medie per ogni obiettivo 4.1, 3.5 e 3.6 i tre scopi si considerano conseguiti.



Abstract

This paper presents an innovative approach to alternating School-Work turnover programme based on Educational Robotics and on project-based learning. At the beginning of the year 2017 (from January to April), Liceo Volta-Fellini of Riccione proposed a STEM practical activity to its own students as a School-Work turnover programme. This course of Robotics was developed and designed by TALENT srl and Università Politecnica delle Marche with 3 objectives: raising interest in STEM education, providing students with the opportunity to learn to work in team, raising awareness towards their own cognitive processes and capabilities through the evaluation of their experience in the alternating school-work programme. Six classes were involved in the project, three from Scientific course and three from Applied Sciences course. The achievement of the project's aims was evaluated collecting data from students by means of a self-assessment questionnaire; students could express their level of agreement to the questions using a 5-point Likert scale: each group of questions associated to a specific aim with an average value greater than 3 allowed to consider that goal reached. As each objective scored an average value of 4.1, 3.5 and 3.6, authors consider all the three goals accomplished.

Keywords: VET, Educational Robotics, alternating School-Work Programme, STEM Education, Lego Mindstorms EV3, Arduino BYOR.

1 Introduction- State of the art

A key to economic growth and social well-being is to provide citizens with specific occupational skills in professional, managerial and technical jobs, in expanding fields. Many countries in the world are focusing on examining the vocational education and training (VET) systems to ensure that they can adapt to the fast-changing needs of both society and economy and that the work-related skills are delivered effectively [1]. The place where skills and guidance are mostly offered is school. The education system, in fact, has the responsibility to guide students during their first years of life, providing skills and knowledge, but that doesn't represent all that school can do for them. Schools, supported by policies established by governments, can facilitate the transition between educational levels or different types of education. Almost all countries in Europe have been developing and introducing such policies and Italy makes no exception [2]. Firstly, the upper secondary school reform in 2010 provided a coherent and flexible framework of pathways in general, technical and vocational education. Lastly, the school reform introduced by the law 107 of 2015 (La Buona Scuola) established a compulsory alternating school-work programme for all learners in the last three years of upper secondary schools:

200 hours a year in general education (Lyceums) and 400 hours a year in technical and vocational schools [3].

To better connect secondary education to university programmes and to future jobs, schools can offer optional subjects that may be useful for further learning, especially if they provide digital skills. School should also implement strategies to tackle the mismatch between the job offered and the job sought and, by doing so, facing the issue of unemployment. This necessarily implies that schools should be open to the territory and that the territory should take charge of students to make them more aware of their future choices [4].

Within this framework, the present paper aims to illustrate an experience occurred at the school Liceo Volta-Fellini in Riccione, where the compulsory alternating school-work programme took place from 09/01/2017 to 11/04/2017 and delivered a number of concepts and practical experience to prepare its students for the world they will be facing in a few years. This experience involved classes from two different background: 3 classes from the Scientific curriculum and 3 classes from the Applied Science curriculum. Two phases were designed to provide an overview of future job possibilities: a training course delivered by TALENT srl and a guided tour to Università Politecnica delle Marche.

The activity consisted of a 12 hours training period based on Educational Robotics (ER) and on STEM education for both classes III and IV, from both scientific curriculum and applied science curriculum. Different tools were planned to be used: Lego Mindstorms EV3 kit was used by the students from the Scientific curriculum as they had no previous knowledge on circuits, assembling hardware and programming software, while the Arduino BYOR platform was used by the students from the Applied Science curriculum, because they had previous knowledge of C programming language and circuits.

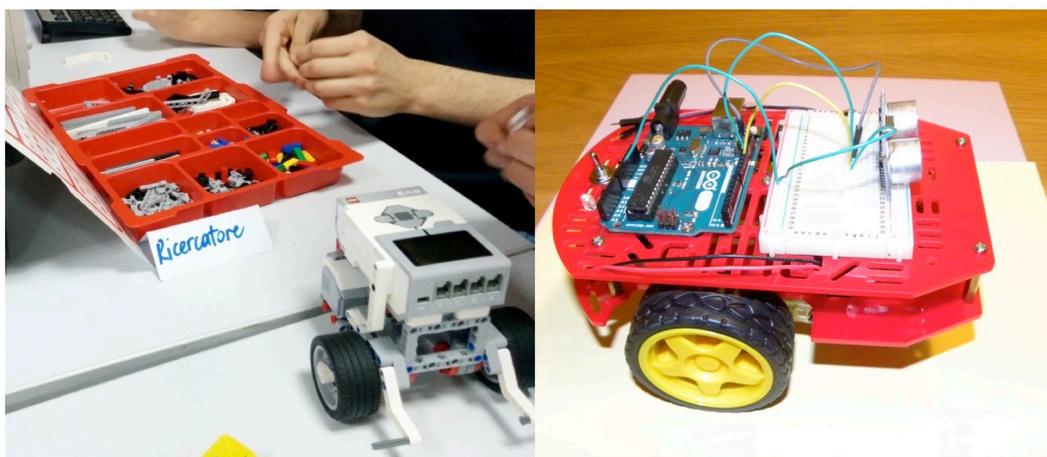


Fig. 1

A picture of Lego Mindstorms EV3 Education kit (left) and a picture of Arduino BYOR kit, developed by Scuola di Robotica (right).

ER was considered as an eligible choice to realize this project because of its potential to involve student in an engaging activity capable of raising interest on technology, developing the 21st century skills [5] and providing a hands-on experience on the interaction within a group working with different roles for a common goal [6-7].

All over the world there are many examples of ER in different frameworks, i.e. in formal [8] and non-formal education [9] and at different levels of education or age [10]. Focusing on secondary education we can find examples of ER to motivate high school female students [11], that is an open issue which has not been fully addressed by policy makers and society at large yet. Tools, methods and activities, developed during the past years to introduce ER into secondary schools and other environments, have been evaluated both qualitatively and quantitatively by the scientific literature [12,13], even though they cannot be regarded as a completely exhaustive set of studies yet [14]. Robotics is a multidisciplinary science due to its own nature, and ER is no different. In fact, it is a versatile tool to teach and learn different subjects. The most investigated subjects by means of ER in Secondary school, apart from Robotics itself, are Physics and Mathematics [13,15].

We can find examples of ER programmes to help students to choose for their future [16,17]. In particular, these last two experiences are important to the present paper because they are two Italian projects and they face the school-to-work or school-to-university transition: the first one uses ER to help secondary school students to choose between all the possibilities that the academic world offers the Computer Science curriculum [16]; the second one advocates for, and realise, a more focused training on Robotics at the completion of the school career in advanced technologies to link vocational and secondary schools to gain access to high-technology jobs [17].

Bearing in mind these useful experiences in the field of ER, a whole new project was designed based on the experience of the innovative start-up TALENT srl and the expertise of the Università Politecnica delle Marche (UnivPM). TALENT srl is an innovative start up with a social vocation, it organizes courses to develop soft skills, critical thinking and human qualities increasing public understanding of technology. Università Politecnica delle Marche has been involved in Educational Robotics since 2010, when a pilot project in the Istituto Comprensivo "Largo Cocconi" in Rome started, with the aim to introduce Robotics as a regular subject at the elementary school.

The expression STEM was created by the National Science Foundation (NSF), and indicates Science, Technology, Engineering, and Mathematics [18]. But this acronym doesn't only refer to the teaching and learning of these disciplines, indeed STEM education tries to introduce a project-based approach into the classroom, characterized by a student-centered strategy in which pupils learn concepts in an active way, solving problems, designing and experimenting with materials. [19]

Activity and assessment were shaped to target three main objectives:

- raising interest in STEM education and related careers;
- giving the opportunity to students to learn to work in team, developing the 21st century skills;
- raising awareness towards their own cognitive processes and capabilities (metacognition) through the evaluation of their experience in the alternating school-work programme.

In the following sections, we will provide more insight on the activities and the results of the project. In Section 2 we will describe more thoroughly the planned activity and the methodologies that underpin the educational approach used. Section 3 will provide a detailed description of the evaluation methods of the results of the assessment. Results will be presented in Section 4 and they will be shown in relation to the three main objectives stated above. Lastly, in Section 5 we sum up the whole project to make final considerations.

2 Implementation

2.1 Educational Approaches

The underlying pedagogical approach in the project is that of Constructionism, a learning theory suggested by Seymour Papert [20] on the basis of the work of Jean Piaget. The learning approach is a construction and re-construction of mental representations more than a transmission of knowledge. An effective learning takes place with the usage of manipulative materials (cognitive artefacts), which enter into a construction activity of a meaningful product. In this activity building knowledge is the natural consequence of an experience of creation, experimentation, direct observation of the effects of the actions of one's own and sharing ideas in a highly motivating context. From this point of view, technology and innovative learning environment allow students to give better chances to learn. The project was inspired by this approach both for the building of a meaningful product by the students, a robot they could creatively customize, and for the creation of programs with the aim to obtain desired behaviours of the robot (obstacle avoidance, line following etc.). The educators did not propose standard solutions for the problems during the course, but each group of students could seek for a personal way to solve the challenges.

Another approach used to design the activities was the project-based learning, an educational strategy for designing learning environments, characterized by a peculiar emphasis on the cooperative research of feasible and effective solutions to a starting problem, involving systematically new technology and trying to produce real and tangible products as an outcome of the activity. This approach is based on "learning by doing" philosophy [21, 22, 23] and on theories oriented to promote different learning styles and "Multiple intelligences" [24].

Peer tutoring is another useful technique which use technologies to teach in classroom: some students will be facilitators in the learning process to help other students of the same age or younger.

2.2 Description of activities

The School-Work programme was characterized by 6 lessons, each of which was marked by a different issue:

1. Introduction to Robotics. How to turn on robot motors. What is the open-loop control.
2. How to use a sensor.
3. How to find the line. What is the feedback control.
4. Follow a line with an ON-OFF controller.
5. Follow a line with a Proportional controller.
6. Obstacle avoidance during the line following.

At the end of the project all the classes went to Università Politecnica delle Marche for visiting the Robotics laboratories and exploring the possibilities offered by the academic world.

The technological lessons were designed in accordance with UnivPM and delivered by TALENT educators with the support of an internal teacher of the school.

During the first meeting (Introduction to Robotics), students were presented with a tangible goal to work for: to realize a robot able to follow a black line on a white canvas. Some videos of line-follower robots were presented to demonstrate that assigning this task to a robot is a very common strategy for Robotics insiders, because it solves real problems in several fields (e.g. industrial robotics, service robotics etc.). Then, students were divided in teams composed of 3-4 people, and roles were defined: the **designer** (responsible for the project and coordinator of the team, the person who has the task to communicate to the others building instructions of the robot), the **warehouse worker** (responsible for the robotic kit, the student who has the task to look for the Lego/Arduino pieces inside the box), the **technical-assembler** (responsible for the robot assembling, the student who has the task to build the robot receiving instructions from the designer and Lego/Arduino pieces from the technical-assembler), and the **validator** (responsible for the check of the robot assembly, observing the instructions on the computer). After constructing the robot and after a brief introduction of the programming features of the IDE selected (Lego Mindstorms EV3 Home Edition or Arduino IDE) a first challenge was proposed to the students: turn on the robot motors to cover a given distance. In this way, TALENT educator could introduce the concept of Open Loop Control, indeed students solve the problem thanks to geometric consideration (circumference formula) and without using any sensor.

The second lecture was about “How to use a sensor”, in particular the ultrasonic sensor. Each team had to program the robot to make it stop at a given distance from an obstacle, and then to make it avoid obstacle continuously.

During the third lesson (How to find the line. What is the feedback control) students approached the problem initially stated: how to follow the line. The first step they tried to fulfil was to look for the line (with the robot positioned in a

“white area” of the canvas), using the light sensor (contained in Lego Mindstorms EV3 kit) or the line tracking sensor (not contained in Arduino BYOR kit, but bought separately). Acquiring data from the sensor allowed them to decide what instructions to give to the motors (turn on/ turn off). In this way, TALENT educator could introduce the concept of Feedback Control, indeed students were able to set commands for the robot motors thanks to the output of the system (values measured by the sensor).

The fourth lesson (Follow a line with an ON-OFF controller) was characterized by the implementation of a simple algorithm for the line following: after having recognized the mean value between black and white, students could create a program with an approach of this kind:

```
If "value read by the sensor" > "mean value"  
Then Turn right  
Else Turn left
```

During the fifth lesson (Follow a line with a Proportional controller) students tried to create an algorithm that adjusted proportionally the position of the robot, depending on the error calculated as the difference between the desired value and the value acquired by the sensor.

```
Value = Read Light Sensor  
Error = Midpoint - Value  
Output = Kp*Error
```

In this case the output of the system was the steering of the robot, that students could set up directly in Lego Mindstorms EV3 software, whereas they had to assign different powers to the motors in Arduino IDE.

The sixth lesson was characterized by the implementation of an algorithm that combined the proportional controller with the ultrasonic sensor, to avoid obstacles during the line following task.

3 Evaluation methods

A self-assessment questionnaire was prepared to assess the results achieved bearing in mind the objectives stated at the beginning of the project (see Section 1). Students received this final self-assessment questionnaire at the completion of all the hours spent on the project. This tool addressed two purposes: first, it assessed the appreciation students had of the activities; second, it engaged learners in a metacognitive activity, because they were stimulated, not only to think about the knowledge they learnt, but also to the process they employed to acquire the knowledge. It stimulated, in fact, the reworking of the activities and the recognition of some personal psychological dimensions and of some aspects of the working process. Questionnaires were also supposed to find out the level of interest and satisfaction with the lessons, the relationship with proposed technologies, the relationship with educators and the relation between pupils.

We proposed a 5-point Likert scale through which students could express their level of agreement [25].

Questions were:

- Q1 - Did you understand correctly the instructions the teachers gave you?
- Q2 - Was the educator attentive and helpful when you asked him something?
- Q3 - Were the lessons proposed by the educator engaging?
- Q4 - Was it easy to build the robot in class working in your group?
- Q5 - Was it easy to use the software while working in your group?
- Q6 - Did you willingly attend the activities of the course?
- Q7 - Was the mood in the class calm?
- Q8 - Was the teamwork characterized by collaboration and support?
- Q9 - Did the relationship with one or more classmates improve?
- Q10 - Did you find fascinating this kind of alternating School-Work programme?
- Q11 - Do you like to attend new advanced course about Robotics?

These closed questions were organized around these three topics (related to the three main objectives stated in section 1):

- raising interest in STEM education and related careers; Q1, Q2, Q3, Q6, Q10.
- giving the opportunity to students to learn to work in team, developing the 21st century skills; Q7, Q8, Q9.
- raising awareness towards their own cognitive processes and capabilities (metacognition) through the evaluation of their experience in the alternating school-work programme. Q4, Q5, Q11.

The questionnaire contained also four open-answer questions; these were intentionally written in a not directive form to motivate students to express opinions, observations and also critics about the experience in a free way and to gather other qualitative information. The four questions were:

- Q12 - What did you learn in this programme?
- Q13 - What was the thing of the programme you liked most?
- Q14 - Do you think something didn't go right?
- Q15 - Is there something more you would have liked to do in the programme?

4 Results

The following bar graphs (from Fig. 2 to Fig. 4) describe the scores (in mean values) given to the questionnaire by students at the end of the programme. The 11 items were organized in three main dimensions that correspond to the objectives of the study (to measure the appreciation of the School-Work programme, to strengthen the team work, to increase interest toward STEM).

The first bar graph (Fig. 2) represents the mean values of the responses to the 11 items – grouped in the 3 dimensions - from the students of the both groups.

The second and the third graphs (Fig. 3 and 4) describe the mean values to the items of the three dimensions obtained from students of the two groups, paired for each item.

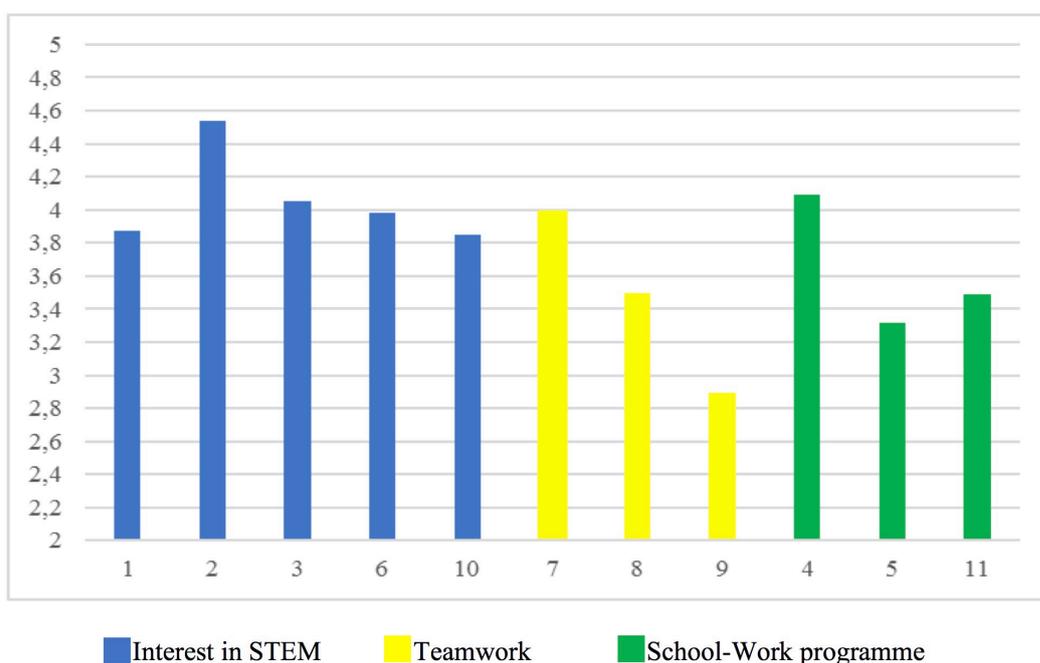


Fig. 2
 Mean values from the whole sample (n. = 118 students) to the 11 items of the questionnaires. Mean values for the 3 dimensions (obtained calculating the mean from items of the same dimension) are respectively 4.1, 3.5 and 3.6 – all of them over the threshold of achievement set at 3.0.

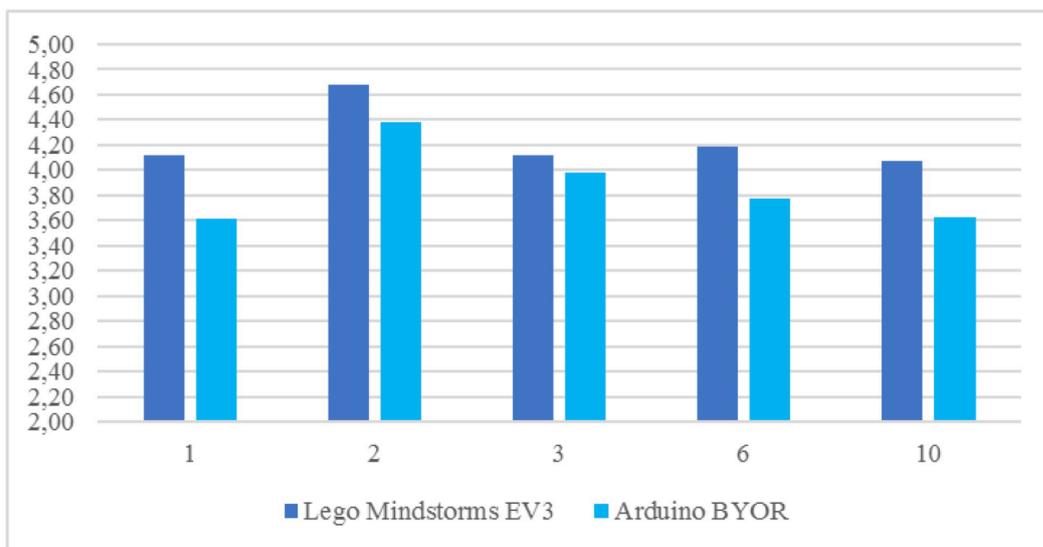


Fig. 3.

Mean values of the answers to the items related to interest in STEM given by students of the two samples paired for each item.

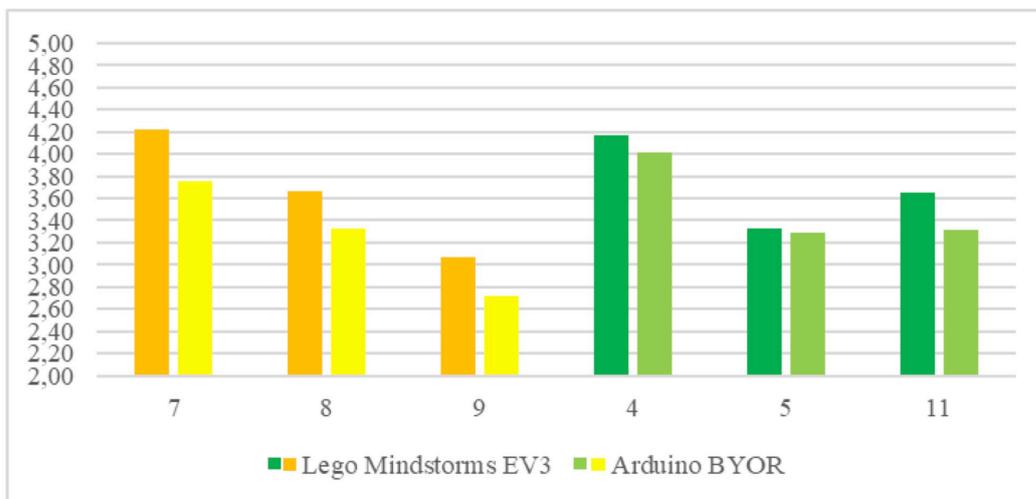


Fig. 4.

Mean values of the answers to the items related to team work (items n. 7-8-9) and appreciation of the School-Work programme (items n. 4-5-11) given by students of the two samples paired for each item.

The following bar graphs (from Fig. 5 to Fig. 12) contain the categories in which we can categorize students' answers to open-ended questions. The 4 items were designed to obtain more information about the achievement of the objectives, and students' opinion about the project.

Fig. 5 shows the answers to the question: “What did you learn in this programme?” for the Lego group. Students’ answers are summarised in 8 categories: Programming, Robotics, Teamwork, Flow Diagram Design, Robot Construction, Math, Problem Solving, No answer.

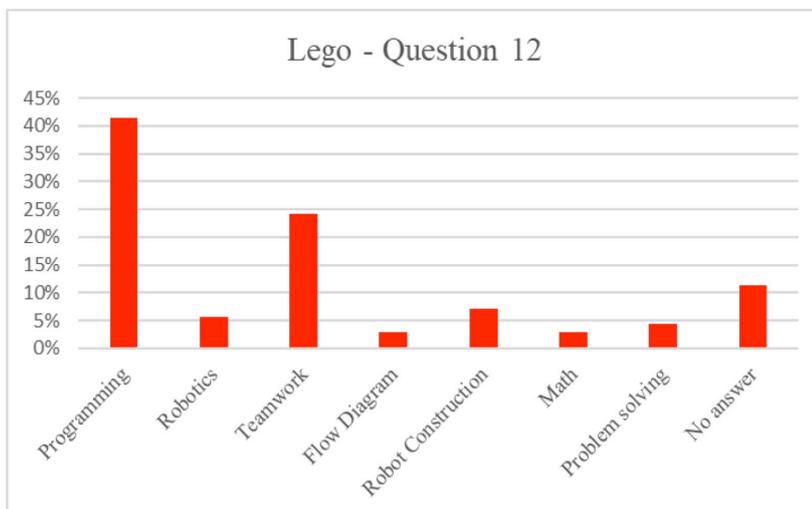


Fig. 5. Students, answers (Lego group) to the question “What did you learn in this programme?”.

Fig. 6 shows the answers to the question: “What did you learn in this programme?” for the Arduino group. Students’ answers are summarised in 8 categories: Programming, Robotics, Teamwork, Robot Construction, Hardware, Apply Theory, Few (we have problems), No answer.

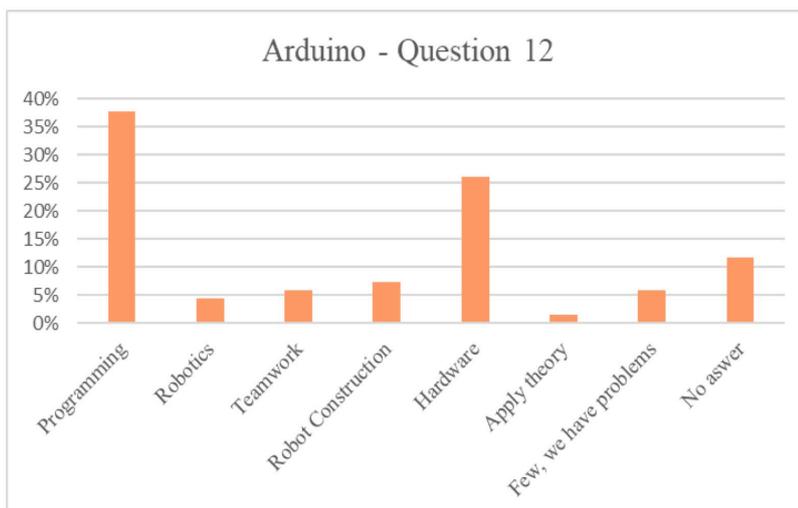


Fig. 6. Students’ answers (Arduino group) to the question “What did you learn in this programme?”.

Fig. 7 shows the answers to the question: “What was the thing of the programme you liked most?” for the Lego group. Students’ answers are summarised in 7 categories: Challenges, Programming, Teamwork, Robot Construction, Achieve Objectives, Educator, No answer.

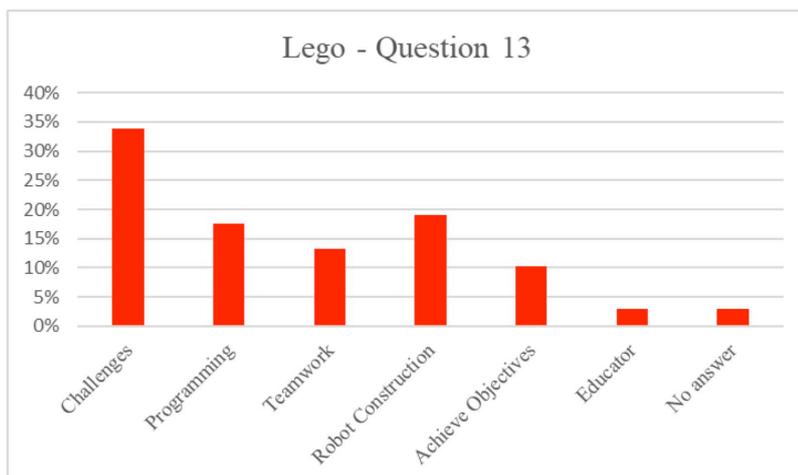


Fig. 7.
Students’ answers (Lego group) to the question “What was the thing of the programme you liked most?”

Fig. 8 shows the answers to the question: “What was the thing of the programme you liked most?” for the Arduino group. Students’ answers are summarised in 7 categories: Challenges, Programming, Teamwork, Robot Construction, Circuits Making, Educator, No answer.

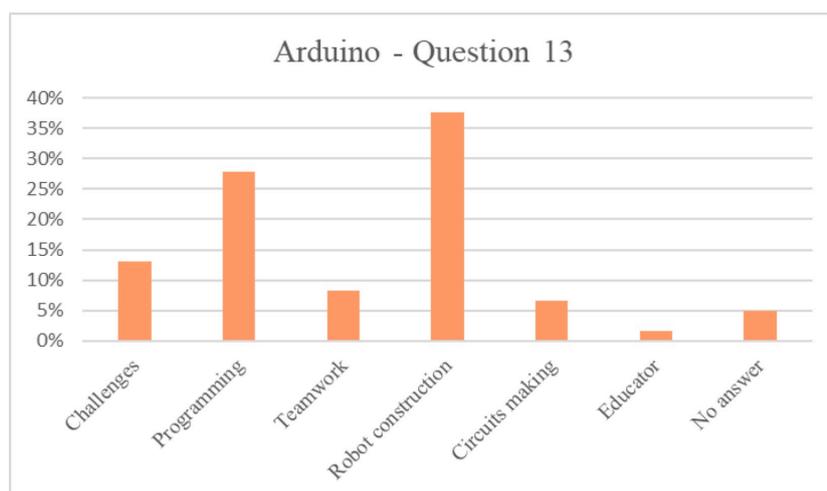


Fig. 8.
Students’ answers (Arduino group) to the question “What was the thing of the programme you liked most?”.

Fig. 9 shows the answers to the question: “Do you think something didn’t go right?” for the Lego group. Students’ answers are summarised in 6 categories: Everything Well, Teamwork, Theory of Programming, Not interested in STEM careers, Timetable, No answer.

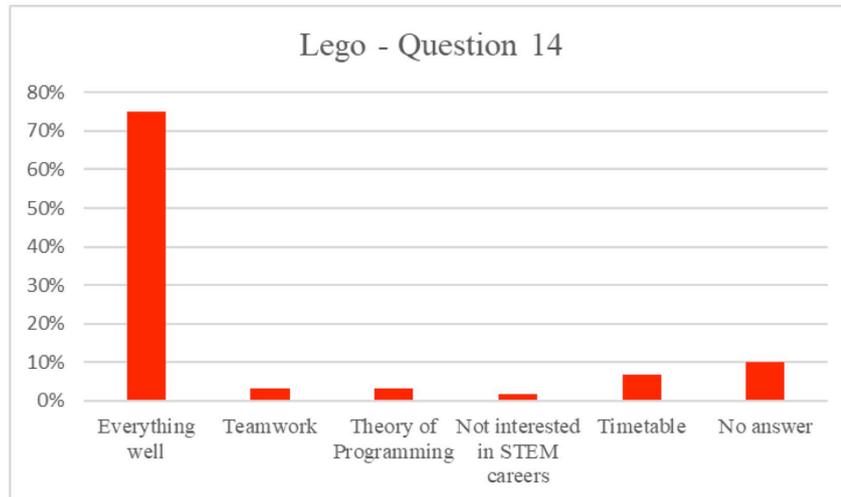


Fig. 9.

Students’ answers (Lego group) to the question “Do you think something didn’t go right?”.

Fig. 10 shows the answers to the question: “Do you think something didn’t go right?” for the Arduino group. Students’ answers are summarised in 7 categories: Everything Well, Teamwork, Programming, Hardware, No theory knowledge, Few Time, No answer.

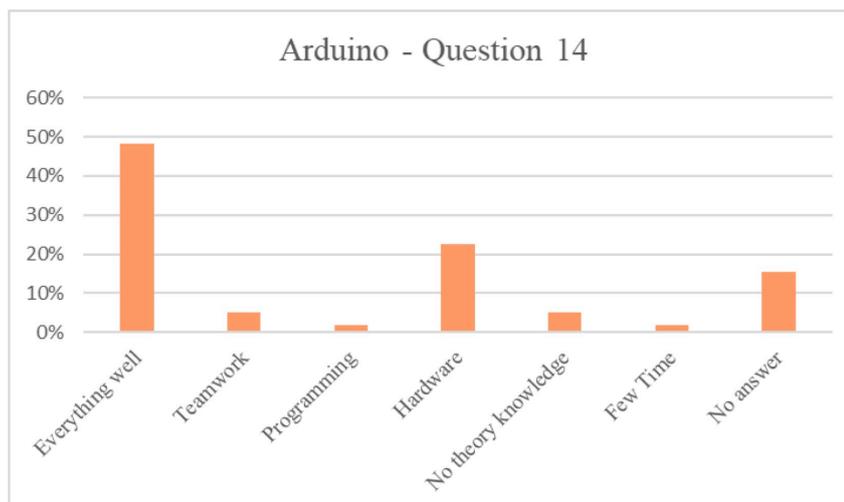


Fig. 10.

Students’ answers (Arduino group) to the question “Do you think something didn’t go right?”.

Fig. 11 shows the answers to the question: "Is there something more you would have liked to do in the programme?" for the Lego group. Students' answers are summarised in 5 categories: Programming, Nothing, More Challenges, Other robots, No answer.

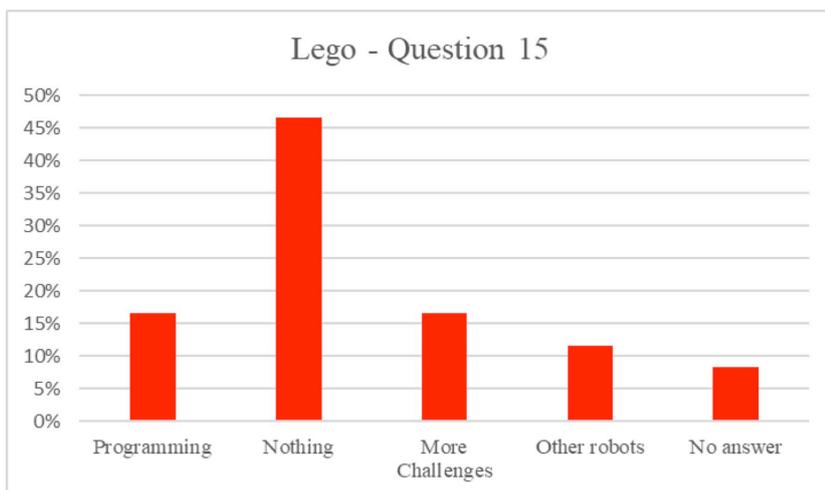


Fig. 11.
Students' answers (Lego group) to the question "Is there something more you would have liked to do in the programme?"

Fig. 11 shows the answers to the question: "Is there something more you would have liked to do in the programme?" for the Arduino group. Students' answers are summarised in 5 categories: Programming, Nothing, More Challenges, Other robots, No answer.

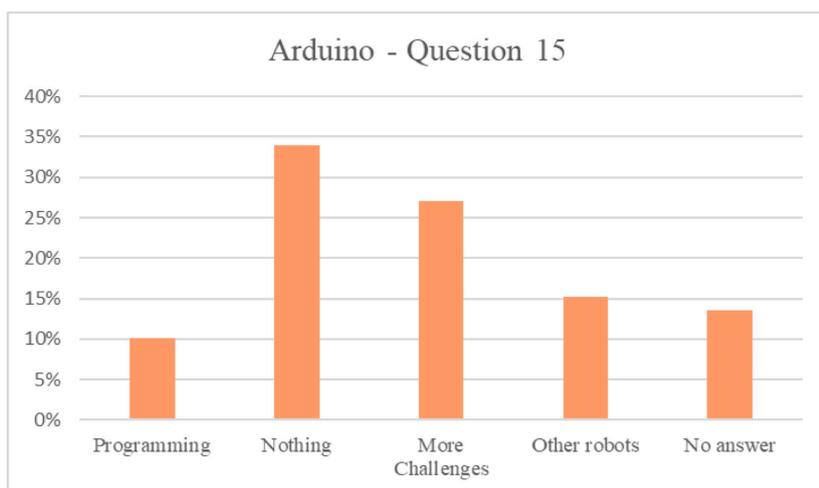


Fig. 12.
Students' answers (Arduino group) to the question "Is there something more you would have liked to do in the programme?"

5 Conclusion

Data from the questionnaire confirmed that the three objectives of the study have been generally achieved, with mean scores of the dimensions relative to the whole sample over the threshold of 3.0.

It is to be noted that throughout all the first eleven items of the questionnaire students that have worked with the Arduino-based kit assigned lower scores with respect to their colleagues that have worked with the Lego kit. Given that the two groups shared the same instructor, dealt with the same topics and the same method was used during the activities, students assigning lower scores in Q1 through Q11 could be explained with the higher demand of specific technical skills while dealing with Arduino. This seems to have influenced the general perception of the activities and in particular the level of comprehension of the instructions (item n.1), perceived involvement (item n.10) and interest to repeat experiences with robots in the future (item n.11), as these items reported higher differences between the two classes. This data could be more relevant because the sample of students who worked with Arduino BYOR had initially more technical skills. The availability of an intermediate kit between Lego Mindstorms EV3 and Arduino BYOR in a progressive curriculum in Robotics could be a solution for the difficulties experienced by students.

About the interest in STEM, students reported a relative ease in working with hardware (the construction of robots) with both kits, while they had greater difficulties in working with software (in robot programming). This (Coding and Computational Thinking) seems to be the area that requires more training.

Another evident data is that the programme – with this structure and amount of time – generally produced positive perceptions about climate in the class, but less ones about collaboration and support in the teams and even less positive evaluations about improvement in peer-relationships; in the class with Arduino, scores related to team work were in general lower than in the Lego program. So, we can conclude that this kind of programme is not particularly effective in increasing individual and in-team relationships.

Analysing the answers to open-ended questions, it's possible to extrapolate different conclusions, considering each item:

Q12 – Both groups stated that they learned “Programming” (41% Lego, 37% Arduino), but only some students in the Lego group (25%) answered that they had learned “Teamwork” during the activities. Maybe Arduino BYOR is a more cognitively challenging kit, demanding most of the intellectual resources of students (e.g. in terms of selective attention and working memory), that are concentrated on the technological devices rather than on the teamwork processes. More than 30% of students in the Arduino group had the perception of learning about something related to hardware (circuit making or robot construction), whereas only 7% of pupils in the Lego group had this feeling; this fact didn't surprise us, because working with Lego Mindstorms EV3, it's not possible to see the hardware behind the robot, and it's not possible to create any circuit to make the robot ready for the challenges.

Q13- The favourite aspect (37%) that students belonging to the Lego group found in the programme was having the possibility to challenge other groups programming the robots. Only 13% of students from the Arduino group wrote the same concept, maybe because technical problems and difficulties impeded them to live the challenge situation positively. Probably there was a lack of perceived self-efficacy during the activities, that led to a lack of self-confidence in facing the challenges, and experiencing them without anxiety.

Another fact that confirmed this analysis was the educator's report, where it's possible to read that often challenges for the Arduino groups were slowed down because of technical problems (software and hardware) that students were not able to solve.

We can conclude that where the activity was full of challenges (without a lot of technical difficulties), challenge was experienced as a strength; where the activity wasn't characterized by a lot of challenges, the most frequent answers were about hardware making or robot programming.

Q14- This question presents a large difference between the "Everything is good" answer: 75% of students in the Lego group stated that there weren't any problems during the activities, against only 48% of students in the Arduino group; but this group was characterized by 21% of the sample that affirmed to have hardware problems. The educator reported that these problems were related not only to the difficulties in circuit making or robot construction, but also to the management of the robotic kits (8 kits that 60 students had to share). With a large number of kits we probably wouldn't have had this percentage of students dissatisfied with the hardware.

Q15- 47% of students belonging to the Lego group affirmed that they were satisfied with the course and didn't want to go any further, doing something more advanced. Probably the non-technical orientation of the school (scientific course) influenced this choice.

27% of students in the Arduino group wanted to go ahead participating in further challenges; this data reinforces our hypothesis presented for the item Q13: students in the Arduino group wanted to make competition, but technical problems created obstacles to work with a challenge-based approach.

Another important data we want to present concerns the percentage of students that were able to program the robot for the last activity (Obstacle avoidance during the line following); although all the groups demonstrated involvement to achieve this objective, we could measure this different result:

- 90% of the students in the Lego group were able to program the robot obtaining the desired behavior;
- 20% of the students in the Arduino group were able to program the robot obtaining the desired behavior.

We can conclude that more lectures would probably be necessary for the group working with Arduino, or maybe we should have proposed a more structured introductory phase, to reinforce the students' confidence with Arduino BYOR.

This experimental study proves the effectiveness of challenge-based approach (when there are the proper prerequisites), in particular related to STEM disciplines and to Robotics. We think that it's possible to obtain a deep understanding of theoretical concepts and a real involvement of students adopting this kind of strategy, characterized by brief frontal moments (it's necessary to give students the tools to design correctly), teamwork to solve problems and prepare challenges.

6 Further steps

Next steps we want to implement for further projects regard:

1. A measurement of the perceived self-efficiency; it's necessary to control this variable, as stated in section 5 (in the analysis of item Q13);
2. The research of a strategy to make the activities with Arduino BYOR comparable (in terms of efficacy) to the activities with Lego Mindstorms EV3. Maybe another way could be the choice of another kit (or the design of it) with the same specs: the possibility to create circuits and to program the robot in textual languages.
3. The design of objective assessment tools, to evaluate technical skills acquired during the alternating School-Work programme (programming, circuit making, etc.); we want to take into consideration not only the achievement of a final specific goal, but also the development of the project and the learning level reached by the students (all the skills put in place by the pupils involved).

Acknowledgments

We would like to show our gratitude to the UnivPM's "Ripartizione Relazioni con il Territorio" and colleagues of Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione – UnivPM for sharing with the classes their beautiful research projects and laboratory activities during the "Academic World exploration days".

A special thank you goes out to the Headmaster of Liceo Volta-Fellini, prof. Paride Principi for having made possible the fulfilment of the project.

References

1. OECD (2014), Skills Beyond School: Synthesis Report, OECD Reviews of Vocational Education and Training, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264214682-en> (last access 28/06/2017)
2. European Commission/EACEA/Eurydice, 2016. Structural Indicators for Monitoring Education and Training Systems in Europe – 2016. Eurydice Background Report to the Education and Training Monitor 2016. Eurydice Report. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
3. <http://www.cedefop.europa.eu/it/news-and-press/news/italy-education-reform> (last access 28/06/2017)
4. http://www.istruzione.it/alternanza/cosa_alternanza.shtml (last access 28/06/2017)

5. Dede, C. (2010). "Comparing frameworks for 21st century skills", *21st century skills: Rethinking how students learn 20*, pp. 51-76.
6. Eguchi, A. (2015). "Educational robotics to promote 21 st century skills and technological understanding among underprivileged undergraduate students", *Integrated STEM Education Conference (ISEC), 2015 IEEE*.
7. Scaradozzi, D., Screpanti, L., Cesaretti, L., Mazzieri, E., Storti, M., Brandoni, M., Longhi, A. (2016), "Rethink Loreto: we build our smart city! A STEM education experience for introducing smart city concept with educational robotics", *The 9th annual International Conference of Education, Research and Innovation, ICERI2016*.
8. Scaradozzi D., Sorbi L., Pedale A., Valzano M., Vergine C. (2015), "Teaching Robotics at the Primary School: An Innovative Approach", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, pp. 3838-3846, vol. 174.
9. Caro, D. C., Solorzano, G. P., Avellaneda M. F., Bustos, T. P. (2006), "Didactic Material Development for Robotics in Non-Formal Technology Education", *2006 IEEE 3rd Latin American Robotics Symposium*, pp. 180-186.
10. Scaradozzi, D.; Pachla, P.; Screpanti, L.; Costa, D.; Berzano, M.; Valzano, M. (2006), "Innovative robotic tools for teaching STREM at the early stage of education". *Proceedings of the 10th annual International Technology, Education and Development Conference, INTED 2016*.
11. Sowell, E., Waller, L., Ofori-Boadu, A., Bullock, G. (2016), "Using technology summer camp to stimulate the interest of female high school students in technology careers", *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, pp. 1688-1696.
12. Lindh, J., Holgersson, T. (2007), "Does lego training stimulate pupils' ability to solve logical problems?", *Computers & Education*, Volume 49, Issue 4, pp. 1097-1111.
13. Goldman, R., Eguchi, A., Sklar, E. (2004), "Using educational robotics to engage inner-city students with technology", *Proceedings of the 6th international conference on Learning sciences (International Society of the Learning Sciences)*.
14. Benitti, F. B. V. (2012), "Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review", *Computers & Education*, Volume 58, Issue 3, pp. 978-988.
15. Mitnik, R., Nussbaum, M., Soto, A. (2008), "An autonomous educational mobile robot mediator". *Autonomous Robots* 25.4, pp. 367-382.
16. Oreggia, M., Chiorri, C., Pozzi F., Tacchella, A. (2016): "Introducing Computer Engineering Curriculum to Upper Secondary Students: An Evaluation of Experiences Based on Educational Robotics", *IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pp. 293-294.
17. Vitale, G., Bonarini, A., Matteucci M., Bascetta, L. (2016), "Toward Vocational Robotics: An Experience in Post-Secondary School Education and

Job Training Through Robotics”, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, vol. 23, no. 4, pp. 73-81.

18. Sanders, M. (Dec 2008-Jan 2009) “STEM, STEM Education, STEMmania”, *Technology Teacher*, vol. 68 n4, p20-26.

19. Gonzalez, H.B. & Kuenzi J. (2012)., “Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: A Primer”, *Congressional Research Service Science*, p. 2.

20. Papert, S. (1993), *Mindstorms: Children Computers and Powerful Ideas*, New York: Basic Books.

21. Papert, S. (1972), *Learn Think to Children*, UCLA (University of California Los Angeles).

22. Resnick, L.B. (1987), *Education and Learning to Think*. National Academy Press. Washington.

23. Schank, R. (1982), *Dynamic Memory: A Theory of Learning in Computers and People*. New York: Cambridge University Press.

24. Gardner, H. (1994), *Intelligenze multiple*, Anabasi, Milano.

25. Likert R. (1932): “Technique for the measure of attitudes”, *Archives of Psychology*, Vol. 22 N. 140.

Authors

Dr. Lorenzo Cesaretti, (Master's Degree in Computer Science and Automation Engineering, accredited Engineer, enrolled in the Ph.D. Course in Information Engineering at Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione) has expertise in robotics, educational robotics and educational technology. He is one of the co-founder of TALENT. He is involved in more than 50 projects and trainings mainly regarding educational robotics, coding and creative use of technology in education.

Email: l.cesaretti@pm.univpm.it

Dr. Michele Storti has a Master's degree in Applied Cognitive Psychology and is licensed Psychologist. He is co-founder of TALENT where he is involved in design and assessment of educational courses/laboratories using educational technologies and in teachers' training on learning topics and innovative educational methodologies.

Email: michele.storti@weturtle.org

Dr. Elisa Mazzieri has a Master's degree in International economics and business and a post degree in International Business Management. She is the General Manager of TALENT (Technological Applications for Learning Empowerment and Thoughts SRL) since November 2015.

Email: elisa.mazzieri@weturtle.org

Dr. Laura Screpanti, (Master's Degree in Electronic Engineering, accredited Engineer, enrolled in the Ph.D. Course in Information Engineering at Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione) has expertise in bioengineering and Educational Robotics. As a researcher, she worked to develop innovative devices for underwater diving, and her current PhD project focuses mainly on the development of tools for Educational Robotics.

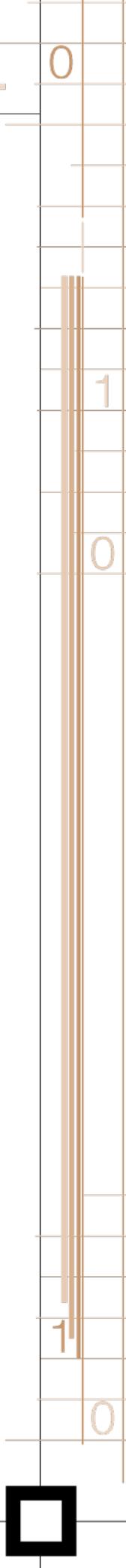
Email: l.screpanti@pm.univpm.it

Dr. Antonio Paesani (Master's Degree in Computer Science) is professor of Computer Science at Liceo Volta Fellini of Riccione.

Email: apaesani@libero.it

Prof. David Scaradozzi, (Master's Degree in Electrical Engineering, PhD, accredited Engineer, Assistant professor at Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione and Mobility Delegate of the Engineering Faculty at UNIVPM, Chercheur Associé at LSIS - umr CNRS 6168 – Marseille, France) has expertise in the field of marine robotics, artificial intelligent systems and educational robotics. He is a member of the PhD School in Information Engineering and he is Chair of the course "Design and Optimization of the Control Systems" – Master Degree in Automation Engineering.

Email: d.scaradozzi@univpm.it



Ludoteca del Registro .it: educare all'utilizzo consapevole della Rete

Giorgia Bassi, Beatrice Lami

Sommario

Il presente articolo descrive il progetto Ludoteca del Registro .it, un'iniziativa del Registro .it (Istituto di Informatica e Telematica del Cnr di Pisa) dedicata all'educazione digitale dei piccoli utenti, in particolare degli alunni delle primarie. Obiettivo del progetto è dare ai cosiddetti nativi digitali un bagaglio di competenze e conoscenze, anche di natura tecnica, che li renda futuri utenti della Rete esperti e responsabili.

Tra gli strumenti Internetopoli (<http://www.internetopoli.it>), una web app multimediale e interattiva che introduce tutte le tematiche della Rete. Infine si descrive il progetto Let's Bit! il cui obiettivo è coinvolgere i ragazzi delle scuole secondarie di secondo grado nel ruolo di educatori junior della Ludoteca nelle primarie.

Abstract

The present paper deals with the Ludoteca del Registro .it, a project of the Institute of Informatics and Telematics of the CNR (National Research Council) in Pisa, with the aim of teaching children a safer and more responsible use of the Internet.

"Internetopoli" (<http://www.internetopoli.it>) is one of the most important instrument of the project, a multimedia application on the Internet world. Finally we describe Let's Bit! project, based on peer education model and developed to involve high school students as tutors in primary schools

Keywords: digital literacy, internet safety, educational app, internet for kids, internet education.



1. A scuola di cultura digitale

La Ludoteca del Registro .it (www.ludotecaregistro.it), patrocinato dall'Autorità Garante per l'Infanzia e l'Adolescenza, è un progetto avviato nel 2012 dal Registro .it (Istituto di Informatica e Telematica del Cnr di Pisa), anagrafe dei domini .it, con l'obiettivo di diffondere la "cultura di Internet" nelle classi delle scuole primarie e secondarie di primo grado. Ad oggi sono oltre 5000 i bambini incontrati in tutto il territorio nazionale.

Alla base del progetto c'è la consapevolezza che oggi le giovani generazioni trascorrono buona parte del loro tempo online, ormai ogni giorno, come emerge anche dai dati pubblicati nel "Libro Bianco Media e Minori, 2014" a cura di AGCOM, in collaborazione con il Censis. Lo scenario è quello di una generazione quasi sempre connessa, soprattutto nella fascia degli adolescenti. Tra le tante attività, i giovani navigatori preferiscono usare i social network e, a una notevole distanza, nella scala delle preferenze, ascoltare musica.

I dati sull'utilizzo di Internet in ambito scolastico indicano invece la permanenza di un significativo ritardo del nostro Paese rispetto ad altri paesi europei, infatti lo usa solo il 24,4%.

Internet è soprattutto spazio sociale: chiacchierare in rete, confrontandosi su temi leggeri o importanti sui social network, sembra dunque l'uso assolutamente prioritario. Sul fronte dei comportamenti negativi sembrerebbe più diffuso il poker on line piuttosto che il porno: una percentuale di maschi prossima al 40% (37,5%) dichiara di avere amici che giocano a poker on line.

Significativi anche i dati dell'indagine EU KIDS Online 2013 (target bambini e ragazzi dai 9 ai 16 anni) sulla gestione dei propri account social: meno della metà (42%) è in grado di cambiarne le impostazioni di privacy e il 34% dichiara di aver vissuto un'esperienza di rischio ma solo il 6% se ne preoccupa.

Dai risultati di queste ricerche emerge quindi l'importanza di proporre, con la collaborazione delle strutture scolastiche, percorsi formativi dedicati alla cultura digitale già a partire dalle scuole primarie, per stimolare un approccio critico che dia ai bambini e ragazzi gli strumenti per sfruttare al meglio e in sicurezza tutte le potenzialità di Internet.

2. Il progetto Ludoteca del Registro .it: a chi si rivolge

Il target della Ludoteca sono i bambini dagli 8 ai 13 anni, appartenenti a pieno titolo alla generazione dei "mobile born", per citare Ferri [1]: "i cellulari sono uno strumento facile e relativamente poco costoso per accedere a quella parte della vita sociale, di relazione e di apprendimento che si svolge all'interno dello schermo".

Il loro modello di apprendimento non è lineare ma multitasking e implica un approccio pratico che procede per tentativi e successive approssimazioni. Apprendere per i mobile born è anche condividere, scambiarsi informazioni e skill, sia nella fase di ricerca che di raggiungimento dei risultati soprattutto attraverso le risorse della Rete. Nella maggior parte dei casi però questo non accade a scuola.

A questo proposito il rapporto Ocse 2013 mette in rilievo, con accenti molti critici, che la scuola italiana avrebbe bisogno di 15 anni per raggiungere, in termini di digitale, i risultati di quella inglese che ha già digitalizzato l'80% delle classi.

Nel nostro Paese ci sono 6 computer ogni 100 studenti e appena il 6% degli istituti sono completamente digitalizzati; solo il 54% delle classi, poi, ha accesso a Internet. Inoltre, a cominciare dalla scuola primaria, l'innovazione non tocca quasi mai gli aspetti legati alle metodologie, ancora strettamente legate al modello della lezione frontale.

La conseguenza è un forte scollamento tra le abitudini e i modelli di apprendimento di questa generazione e l'attuale offerta formativa scolastica.

La proposta della Ludoteca del Registro .it tenta in parte di recuperare questo gap, cercando di costruire un rapporto di collaborazione con il tessuto scolastico, nell'ottica di contribuire a innovare strumenti e metodi didattici, grazie anche all'utilizzo di Internet e delle tecnologie.

2.1 Contenuti e strumenti



Figura 1
Il gioco del filo

La Ludoteca propone un percorso dedicato al mondo di Internet a partire dai suoi meccanismi di funzionamento (il linguaggio binario, il processo di trasmissione dati, l'immagine digitale) per arrivare alle principali problematiche legate all'utilizzo, dalla "net addiction", alla tutela dei dati personali fino all'attendibilità dei contenuti online e il copyright.

Si parte però sempre dalle basi tecniche, perché la Rete non è solo web (concetto poco chiaro anche agli adulti) e quindi app, videogiochi e social

network ma anche sistema binario, trasmissione a pacchetto, nomi a dominio, indirizzo IP.

Uno degli obiettivi della Ludoteca è riuscire a proporre questi temi senza annoiare i bambini, anzi divertendoli e stimolando il loro interesse.

Per questo la scelta di strumenti e metodologie è cruciale. Inizialmente, i laboratori non prevedevano l'utilizzo di Internet e di dispositivi digitali: gli argomenti erano introdotti solo con il supporto di materiale cartaceo e giochi di gruppo. Tra questi il "gioco del filo", con il quale si crea in classe un modello di Rete, in cui i bambini rappresentano i computer collegati e il filo di lana la rete internet su cui è trasmesso un messaggio.

L'unica attività multimediale prevista in questa fase era la visione dei cartoni animati della serie "Navighiamo sicuri con il Prof. Itti", dedicati alla navigazione sicura e interamente realizzati all'interno del Registro .it.

Successivamente, sono stati introdotti laboratori con tablet, valorizzando la dimensione della cooperazione, facendo quindi lavorare i bambini in gruppo e cercando di stimolare un atteggiamento il più possibile "attivo", attraverso la creazione di contenuti originali [2].

Per essere ancora più efficaci sul piano degli strumenti, nel 2015 è stata sviluppata Internetopoli (www.internetopoli.it), un'applicazione multimediale dedicata, come dice il nome, alla "città di Internet", concepita come strumento didattico per gli insegnanti.

3. Internetopoli



Figura 2
L'applicazione Internetopoli

Una delle caratteristiche del progetto Ludoteca del Registro .it è la ricerca costante di metodi e strumenti sempre nuovi. Da questa esigenza è nata appunto "Internetopoli", un'applicazione dedicata al mondo di Internet, adatta anche alle Lim [3], pensata per offrire ai docenti un percorso guidato per lavorare in classe anche in totale autonomia, consultando il materiale di supporto e approfondimento a corredo dello strumento.

I contenuti dell'app ripropongono tutte le tematiche affrontate nei laboratori nelle classi e si articolano in otto livelli di navigazione:

- come funziona Internet
- i nomi a dominio
- storia e organizzazione
- social network
- tutela privacy e contenuti online
- risorse della Rete
- Internet delle cose
- smart city e cittadinanza digitale

Internetopoli include testi, rappresentazioni grafiche, quiz interattivi, video tutorial, cartoni animati (cinque episodi della serie "Navighiamo sicuri con il Prof. Itti"), brevi inserti di film: caratteristica che risulta ben valorizzata nel caso di fruizione in classe su Lim. Per rendere efficace la distribuzione delle varie risorse è stata necessaria una riflessione preliminare, in modo da evitare una sovrabbondanza di stimoli che potesse pregiudicare l'apprendimento: per questo motivo si è cercato, per esempio, di distribuire in modo bilanciato i contributi video (massimo 1 o 2 per livello).

3.1 La metafora della città

Internetopoli è la città di Internet, metafora che lega coerentemente tutti gli argomenti, da quelli più tecnici a quelli legati all'utilizzo. Questo tipo di scenario si presta molto bene a spiegare contesti piccoli e grandi, passando, per esempio, dal tema di Internet come rete mondiale a quello di "Internet delle cose", dentro le case e nella vita di tutti i giorni.

La metafora è utile anche per parlare di "cittadinanza digitale", nel senso di diritti e doveri che garantiscano la vita di tutti i cittadini, concetto importante da trasferire ai piccoli internauti.

Attraverso la metafora della città possiamo spiegare:

- come funziona Internet: come in una città ogni casa ha il suo indirizzo che la individua esattamente, così ogni computer e dispositivo collegato alla Rete ha uno speciale indirizzo (solo numerico) chiamato "indirizzo IP" (Internet Protocol);
- i nomi a dominio: sono una sorta di "traduzione" a parole degli indirizzi IP numerici, e sono facilmente memorizzabili dagli "abitanti della Rete";

- governo e organizzazione della Rete: anche Internetopoli, come tutte le città, per essere vivibile deve essere regolata e amministrata da enti tecnici locali e internazionali;
- utilizzo consapevole e sicuro: i cittadini di Internetopoli devono muoversi in questa città con consapevolezza e responsabilità, in modo da proteggere, per esempio, la propria privacy e non compromettere quella altrui;
- le opportunità della Rete: Internetopoli è una città ricca di risorse e servizi, utili per il lavoro, lo studio e il divertimento;
- città intelligenti e "Internet of things": a Internetopoli la vita quotidiana è resa migliore dalle nuove tecnologie collegate a Internet.

3.2 Navigazione e funzionalità

Il mondo di Internetopoli si sviluppa in 8 livelli tematici. L'app può essere navigata, scegliendo di affrontare o di approfondire solo alcuni argomenti con la massima flessibilità, cliccando sulle keyword e i vari "hot spot", nascosti negli scenari della città. Internetopoli è anche concepita come un gioco educational, in cui il passaggio ai livelli successivi avviene solo dopo il superamento di un quiz che ha l'obiettivo di fissare i concetti fondamentali. Il giocatore ha la possibilità di seguire l'andamento della propria prestazione, per mezzo della barra in alto che indica in progressione la percentuale di gioco svolto.

Queste le principali funzionalità:

- Punti "i": finestre informative di testo che si aprono in automatico quando si accede a un livello e che ne spiegano l'argomento generale;
- Hot spot: "punti caldi" nascosti negli scenari della città che, una volta individuati, aprono finestre di approfondimento;
- Keyword: parole chiave evidenziate che rimandano soprattutto a termini tecnici o link a risorse esterne o video;
- Quiz: a risposta multipla, si lanciano cliccando sul simbolo "?" che compare solo dopo aver cliccato su tutti gli hot spot di livello.

Molto utile anche la "Guida per gli insegnanti" navigabile o scaricabile insieme all'app, nella quale sono presenti tutti i contenuti dei livelli, riportati in un ordine lineare, con l'aggiunta di materiale di approfondimento e proposte di percorsi didattici da svolgere in classe.

3.3 Note tecniche

Internetopoli è sviluppato con il linguaggio HTML5, che consente una agevole navigazione anche da tablet, ed è supportato dalle versioni più recenti dei più comuni browser. La visualizzazione ottimale è stata testata sui browser Google Chrome, Mozilla Firefox, Apple Safari. L'applicazione è compatibile con i sistemi operativi iOS, Android e Windows.



Figura 3
La città di Internetopoli

3.4 Lezione tipo

Internetopoli può essere uno strumento utile per sperimentare anche modalità innovative di insegnamento e di apprendimento, ad esempio pratiche di lavoro collaborativo.

L'utilizzo di questa app può anche aprire scenari di didattica sul modello della cosiddetta "flipped classroom" (lett. "lezione capovolta"), in cui gli studenti non assistono passivi alla lezione, ma si confrontano tra di loro e con l'insegnante, dopo aver studiato a casa, anche su contenuti multimediali [4]. Proviamo di seguito a elencare le fasi di una possibile lezione dedicata a Internetopoli sul modello della flipped classroom:

- l'insegnante, dopo aver introdotto brevemente Internetopoli, assegna per casa a diversi gruppi di lavoro (preferibilmente 8 come i livelli dell'app) il compito di approfondire una tematica specifica della Rete, navigando un particolare livello di Internetopoli;
- in classe l'insegnante rivolge delle domande per capire il livello di conoscenze acquisite e chiarire eventuali dubbi;
- ogni gruppo presenta un elaborato finale (in varie forme: cartelloni, mappe concettuali, presentazioni multimediali, app, social network) per condividere con tutta la classe ciò che si è appreso.

4. Let's Bit!

Vista la varietà degli argomenti, articolati su più livelli di approfondimento, Internetopoli richiede sempre la guida di un educatore. Da questa premessa è emersa la necessità di pensare a modelli didattici che potessero coinvolgere il più possibile i bambini durante la navigazione, suscitando in loro l'interesse per la "città di Internet".

Per questo, nell'anno 2015/16, è nato Let's Bit!, progetto destinato ai ragazzi degli istituti superiori, con l'obiettivo di coinvolgerli nel ruolo di "tutor di Internetopoli" nelle classi primarie, secondo il modello della "peer education" (lett: "educazione tra pari"), a dimostrazione che la vera innovazione implica necessariamente un ripensamento anche delle metodologie.

Gli ambiti di applicazione della peer education sono molteplici, anche se i risultati migliori si riscontrano nel contesto di iniziative di prevenzione dedicate alla salute, al benessere psicofisico e relazionale (dipendenza alcol, fumo, droghe, metodo di studio, omofobia e razzismo, affettività e sessualità, ecc). Questo modello risulta quindi indicato anche per le finalità della Ludoteca del Registro .it, che vede nella diffusione della cultura digitale lo strumento principale per prevenire comportamenti negativi oggi sempre più diffusi.



Figura 4
Il progetto Let's Bit!

In questo caso, il rapporto docenti/discenti non è di tipo verticale ma permette l'instaurarsi di un processo educativo reciproco, basato soprattutto sulla condivisione e lo scambio di esperienze (in questo caso di vita digitale) che, secondo gli studi psicopedagogici, permette di migliorare queste capacità [5]:

- problem solving e pensiero critico
- efficacia personale, nel senso di consapevolezza delle proprie capacità
- efficacia collettiva, nel senso di condivisione da parte di un gruppo di idee e valori che consentono di raggiungere obiettivi comuni

L'attività di tutoraggio rende quindi gli adolescenti protagonisti di un processo nel quale essi stessi divengono riferimento per altri, riuscendo anche a potenziare la conoscenza di sé, l'autostima e lo sviluppo di autonomia operativa.

I ragazzi che partecipano a Let's Bit! diventano parte attiva della "digital literacy" dei bambini, espressione che indica l'insieme di conoscenze e competenze che permettono un utilizzo consapevole di Internet e delle nuove

tecnologie. Inoltre, responsabilizzati nel ruolo di educatori, sono portati ad analizzare con maggiore attenzione i loro stessi comportamenti di utenti della Rete ed eventualmente a correggerli o migliorarli. Infine, questo modello permette ai ragazzi di prendere coscienza delle criticità che comporta il "mestiere di insegnante", migliorando, di conseguenza, i rapporti con i propri professori.

I vantaggi di Let's Bit! sono riscontrabili naturalmente anche nei bambini, che si mostrano molto interessati e motivati ad ascoltare, spinti anche da un naturale senso di fiducia ed emulazione nei confronti dei ragazzi più grandi.

Dal punto di vista dei contenuti formativi, il valore aggiunto è dato dal bagaglio di esperienza che i ragazzi trasmettono ai più piccoli, uno stimolo a riflettere e capire i comportamenti da evitare o da adottare.

Per diventare "tutor di Internetopoli", gli studenti delle superiori devono seguire un corso di formazione a cura dello staff della Ludoteca, della durata complessiva di 12 ore, in cui si introducono i temi cruciali di Internet attraverso Internetopoli.

L'ultimo giorno di formazione prevede lo svolgimento di un test per selezionare i ragazzi più adatti, anche per attitudini personali, a svolgere l'attività nelle classi.

Al termine del corso è fondamentale che tutti i ragazzi sappiano muoversi con autonomia dentro l'app e abbiano acquisito l'approccio didattico adatto ai bambini, a cominciare dal linguaggio da utilizzare.

La parte pratica di Let's Bit! si svolge nelle primarie (almeno 2 uscite per classe, le prime in collaborazione con gli educatori della Ludoteca), con lezioni in genere condotte da gruppi di 4-5 ragazzi e gestite in alternanza scuola/lavoro.

5. Sviluppi futuri

Nell'anno scolastico 2016/17 si prevede di coinvolgere nel progetto Let's Bit! altri quattro istituti superiori.

La Ludoteca promuoverà inoltre un concorso, chiamato ".it Contest", aperto a tutte le scuole primarie e secondarie di primo grado, in cui i partecipanti dovranno presentare elaborati che mettano in luce l'importanza della propria identità digitale, con particolare riferimento ai nomi a dominio .it che nel 2017 festeggiano i 30 anni (nel 1987 a Pisa è stato registrato il primo dominio italiano, cnr.it).

Inoltre, a partire dai primi mesi del 2017, è in programma il primo "Roadshow della Ludoteca del Registro .it" con quattro tappe in città italiane, un'occasione per riproporre in una modalità ancora più interattiva i laboratori, proponendo anche momenti di approfondimento e dibattiti per gli insegnanti e i genitori.

6. Bibliografia

[1] Ferri, P., (2008). "La scuola digitale", Mondadori

[2] Calvani, A. , 2013 "I nuovi media nella scuola. Perché, come, quando avvalersene", Carocci

[3] AA. VV, 2009 "Didattica attiva con la Lim", Erickson

[4] Maglioni, M., Biscaro, F., 2014, "La classe capovolta. Innovare la didattica con la flipped classroom," Erikson

[5] Pellai, A., Rinaldin, V., Tamborini B., 2002 "Educazione tra pari. Manuale teorico-pratico di empowered peer education".

7. Biografie

Giorgia Bassi. Dal 2006 lavora all'Istituto di Informatica e Telematica del Cnr di Pisa in cui ha sede il Registro .it l'anagrafe dei nomi a dominio a targa .it, collaborando a progetti di comunicazione legati ai nomi a dominio. Dal 2011 cura l'attività editoriale, la comunicazione e le attività di divulgazione della Ludoteca del Registro .it. . Ha partecipato come relatrice a convegni nazionali dedicati alla nuove tecnologie applicate alla didattica come "Didamatica" a cura di Aica, ABCD-Salone Italiano dell'Educazione e internazionali come "The Future of education". E' coautrice dell'ebook, "La Rete e il fattore C. Competenze, Consapevolezze e Conoscenze", della Collana WoW (World of Wister).

Email: giorgia.bassi@iit.cnr.it

Beatrice Lami. Dal 2000 lavora all'Istituto di Informatica e Telematica del Cnr di Pisa in cui ha sede il Registro .it. Si occupa di aspetti tecnici legati alla registrazione dei nomi a dominio, della formazione dedicata ai Registrar; dal 2011 è referente del progetto Ludoteca del Registro .it, di cui valida anche i contenuti tecnici. Ha partecipato come relatrice a convegni nazionali dedicati alla nuove tecnologie applicate alla didattica come "Didamatica" a cura di Aica, ABCD-Salone Italiano dell'Educazione.

Email: beatrice.lami@iit.cnr.it

Uno smartphone chiamato Joe

Silvio Hénin

Sommario

Ai tempi dei primissimi calcolatori automatici digitali, macchine gigantesche, costose e usate solo per i calcoli scientifici, vi fu uno scrittore di fantascienza che preconizzò uno strumento economico, accessibile a tutti e capace di far ciò che i nostri PC e smartphone fanno oggi. Nell'articolo si riesamina, dopo 70 anni, la capacità di previsione dell'autore e la si confronta con quella di altri famosi narratori di fantascienza.

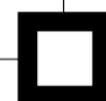
Abstract

At the time of the very first automated digital computers, huge and expensive machinery used only for scientific calculations there was a fictional writer who advocated a small and inexpensive device for everybody, able to do what our PCs and smartphones do today. In this paper, 70 years later, the author's predictive skill is analyzed and compared with the more conservative vision of other well-known science-fiction writers.

Keyword: Fantascienza, Origini del computer, Murray Leinster, Isaac Asimov

Più di settant'anni fa, nel marzo del 1946, la rivista americana *Astounding Science Fiction* pubblicava un breve racconto intitolato "A Logic Named Joe" (Un Logic chiamato Joe) firmato da William Fitzgerald Jenkins (alias Murray Leinster).¹ L'opera riscosse grande successo tra i lettori, ma ciò che più sembra degno ricordare oggi è che lo scritto preconizzava tecnologie che esisteranno quasi un cinquantennio più tardi: quelle del personal computer, dello World Wide Web, perfino dello smartphone.

¹ Il racconto è stato pubblicato in italiano col (pessimo) titolo "Onora il Logico tuo", nell'antologia *Ritorno perduto*, Gamma, n. 27, anno IV, Edizioni dello Scorpione, 1968.



L'autore

William F. Jenkins (1896-1975) era in possesso del solo diploma di scuola media, ma era un vorace lettore ed era affascinato dalla scienza e dalla tecnologia. Dopo qualche precoce esperienza come scrittore dilettante, all'età di ventun anni lasciò il modesto impiego di fattorino per dedicarsi professionalmente alla scrittura, diventando un prolifico novelliere – scrisse infatti 1800 opere, tra racconti e novelle. Il suo genere era la *pulp-fiction*,² l'economica narrativa popolare di largo consumo che spaziava dal western, all'horror e ai romanzetti rosa, che lui firmava con pseudonimi.³ Jenkins contribuì anche a riviste di maggior pregio, come il *Saturday Evening Post* e il *Collier's Magazine*, firmando invece col suo nome. La maggior parte della sua produzione rientra però nel genere fantascienza, a cominciare da "The Runaway Skyscraper" che fu pubblicato su *Argosy* nel 1919 – prima ancora che il termine inglese '*science fiction*' fosse coniato.⁴ Jenkins è annoverato fra gli autori classici di questo genere letterario ed è ricordato come l'inventore degli 'universi paralleli' nel suo "Bivi nel tempo" del 1934⁵ e del 'traduttore universale' in "Primo contatto" del 1945.⁶ La fantascienza di quel periodo, quella che fu scritta tra gli anni '40 e '50 del XX secolo – definita Età dell'oro del genere – trattava prevalentemente di viaggi spaziali o di incontri (e scontri) con gli alieni, il substrato tecnologico di cui faceva uso era quello necessario a tali imprese: astronavi, motori stellari e raggi della morte. Vi erano anche i viaggi nel tempo e le guerre nucleari (o i loro postumi) con le relative macchine e armi. Vi erano infine le storie di robot, più o meno senzienti, sempre antropomorfi e ben diversi da ciò che noi oggi intendiamo con 'computer'. Solo in pochi casi le storie si centravano sui calcolatori automatici programmabili e per uso generale, almeno fino a quando questi non divennero già abbastanza noti e di loro si parlò diffusamente nei mezzi di informazione.⁷

² I termini '*pulp fiction*' e '*pulp magazine*' derivano dalla carta economica su cui erano stampati, prodotta a partire dalla 'polpa di legno'. La carta ingialliva rapidamente e diventava fragile per l'elevato contenuto di lignina. La prima pulp magazine fu *Argosy Magazine* di Frank Munsey del 1896, su cui Jenkins pubblicò le sue prime novelle.

³ I romanzi rosa erano firmati con lo pseudonimo femminile Louisa Carter Lee.

⁴ Il termine fu definito da Hugo Gernsback, nel 1926: "Con '*scientifiction*' [sic] indico le storie del tipo scritto da Jules Verne, H. G. Wells e Edgar Allan Poe, gradevoli romanzi che mescolano fatti scientifici con visioni profetiche".

⁵ *Urania*, n.52, Arnoldo Mondadori Editore, 1954.

⁶ *Nova SF*, anno. IX n. 30, Libra Editrice, 1975.

⁷ Una precoce eccezione è "The machine stops" di E. M. Forster, pubblicata in *The Oxford and Cambridge Review* nel 1909. Il racconto parla di una 'macchina' che controlla ogni aspetto della vita umana.

Di fatto, nel 1946 esistevano nel mondo solo due o tre computer. Negli Stati Uniti vi erano lo Harvard Mark I a Cambridge (USA) e lo Eniac a Filadelfia, il primo era elettromeccanico a relè, il secondo era elettronico a valvole. L'esistenza dei due calcolatori era stata divulgata dai mezzi d'informazione e così pure quella dei progetti di altre macchine simili che stavano per essere costruite verso la fine degli anni 1940. Pochi si rendevano conto dell'importanza strategica di questi strumenti, anche se erano utilizzati per usi militari, quindi la segretezza era piuttosto blanda, certo molto meno severa di quella riguardante i missili, le armi nucleari, gli aerei a reazione o i radar. Nel Regno Unito esistevano una decina di esemplari di una macchina chiamata Colossus, costruita per decrittare i codici segreti tedeschi, ma non tutti concordano nel definirla un vero computer. Proprio per il suo uso, le informazioni su Colossus erano protette dal massimo grado di segretezza e così rimasero per altri trent'anni. Certamente Jenkins aveva letto qualcosa su Eniac e Harvard Mark I, ma questi erano colossali congegni che occupavano interi locali, consumavano megawatt di energia elettrica, costavano centinaia di migliaia di dollari e non potevano essere spostati se non smontandoli e rimontandoli. Inoltre, la loro funzione era solo quella di eseguire lunghi e complessi calcoli matematici per la fisica nucleare, l'aeronautica, la missilistica e altre scienze applicate. Ciò che profetizzò Jenkins era qualcosa di totalmente diverso.

La storia

“A Logic Named Joe” è un breve racconto di sole quindici pagine, narrato in prima persona dal personaggio umano principale, Ducky. Il fittizio narratore si esprime in uno slang popolare, ricco di forme gergali e di elisioni, cosa che rende la lettura piuttosto ostica a chi non padroneggia l'inglese-americano colloquiale. Oggi il suo linguaggio suona anche politicamente scorretto, come quando afferma che “I Logic non funzionano bene con le donne, ma solo con ciò che ha senso”. Tale linguaggio è però coerente con lo *status* di Ducky, che è un ‘colletto blu’ di livello culturale medio-basso e che si rivolge a lettori dello stesso livello. La storia si svolge in un imprecisato futuro (rispetto al 1946), quando un certo Carson ha brevettato un (micro)circuito a relè capace di elaborare dati. La Logics Company, l'azienda per cui Ducky lavora come riparatore, ha sviluppato e messo in produzione il Logic, un piccolo strumento che sfrutta proprio il Circuito Carson. Il dispositivo è pensato per l'uso personale o familiare e ha un costo tanto ridotto da permettere a chiunque di possederne uno, come il frigorifero o l'aspirapolvere. L'apparecchio è dotato di uno schermo e di una tastiera ed è tanto piccolo che può essere usato in casa o in una stanza d'albergo. Nei locali pubblici sono disponibili Logic a moneta per chi avesse dimenticato il suo o non ne possedesse uno. Uno di questi strumenti è il secondo personaggio principale della storia, che Ducky soprannomina ‘Joe’.

I Logic sono apparecchi multifunzionali che forniscono molte delle applicazioni che oggi sono così comuni da sembrare scontate: permettono la visione di programmi televisivi e film, danno accesso a notiziari, consentono di comunicare con chiunque in audio e video, di accedere a informazioni di qualunque tipo, anche per uso professionale. Permettono di creare archivi personali, di gestire

servizi di segreteria e “possono anche fare calcoli”. In poche parole, un Logic può esaudire qualunque bisogno di elaborazione, informazione e comunicazione, basta digitare la domanda sulla tastiera e, in tempo reale, arriva la risposta o il collegamento richiesto. Lo sviluppo del Logic è appena alle sue origini: “stanno ancora cercando [di capire] cosa il Logic possa fare! [...] ma tutti lo comprano”, dice Ducky, esibendo una previsione del moderno consumismo elettronico. Per fare tutto ciò, i Logic sono connessi a ‘*tank-and-integrator*’ (server, diremmo oggi) tramite un collegamento radio, una sorta di Wi-Fi *ante litteram*. I tank archiviano tutte le informazioni, registrate su piastre-dati (*data-plates*), ma non hanno capacità di elaborazione – sono solo memorie; “non c’è nulla nel tank che faccia chiudere i relè” spiega Ducky. Il Logic lavora in multitasking: mentre gestisce una conversazione telefonica può continuare a cercare le informazioni richieste e eseguire calcoli. Il sistema Logic/tank possiede però un meccanismo di censura, una specie di filtro che impedisce l’accesso a informazioni sensibili o pericolose come, per esempio, la visione di film per adulti da parte di un minore.

Uno dei nuovi Logic, quello che Ducky battezzerà ‘Joe’, soffre di un casuale e improbabile difetto di costruzione e si comporta in modo anomalo. Poco dopo la sua entrata in funzione Joe riesce a prendere il controllo dei tank e di tutti gli altri Logic e da quel momento su tutti gli apparecchi compare la scritta “Nuovo servizio dei Logic! Il vostro Logic può ora fornirvi non solo informazioni, ma anche istruzioni. Se volete fare qualcosa e non sapete come - chiedete al vostro Logic!”. L’avviso non è esagerata pubblicità, come si accorgeranno presto tutti gli utenti, adesso è possibile sapere esattamente come commettere un omicidio senza essere scoperti, forzare qualsiasi serratura o rapinare una banca restando impuniti, instaurare un nuovo sistema politico anche disumano o oppressivo. Joe⁸ non si limita a reperire tutte le informazioni necessarie, ma è in grado di dedurre da queste nuove idee e risolvere i problemi “che il cervello umano è troppo limitato per affrontare”: una anticipazione dell’intelligenza artificiale. Soprattutto, pur di accontentare l’utente, è in grado di aggirare i filtri censori. Joe riesce anche a carpire i dati personali di tutti gli utenti, semplicemente chiedendo loro le generalità al momento del log-in e collegando il nome a altri dati d’archivio, anche riservati – un fenomeno comune nel web del XXI secolo – per poi metterli a disposizione di chiunque li chieda.

Ducky si accorge del caos e dei pericoli che stanno insorgendo e decide, anche per motivi strettamente personali, di intervenire. Prima chiede alla direzione della Logics Company di spegnere i tank, ma gli viene risposto che ciò è impossibile perché ormai troppe attività umane dipendono dalla rete: “Da anni il tank sta lavorando per ogni cosa. Gestisce la distribuzione del novantaquattro per cento di tutti i canali televisivi, le vendite, le previsioni meteo, le offerte di lavoro, le conversazioni d’affari e i contratti. I Logic sono la civiltà! Se li spegniamo torneremo a un livello che abbiamo dimenticato come gestire”. Ma Ducky trova una soluzione molto semplice. Si è reso conto, forse

⁸ Nel racconto non è chiaro se sia Joe a intercettare tutte le domande, anche quelle poste agli altri Logic della rete, e a elaborare tutte le risposte, ma è probabile che sia così.

inconsapevolmente, che Joe non è mosso da una volontà maligna, tutt'altro, è solo spinto dall'imperativo di "fare la cosa giusta", eseguendo con la massima efficienza ciò per cui è stato creato: rispondere prontamente a tutti i desideri umani, senza alcuna limitazione o valutazione etica. Joe non è soggetto alle prime due delle tre leggi della robotica proposte da Asimov e quindi non si preoccupa delle conseguenze negative delle istruzioni che fornisce.⁹ Così, Ducky chiede semplicemente a Joe chi sia il suo proprietario, la macchina non può mentire e gli comunica l'indirizzo, dove Ducky si reca e spegne la macchina ribelle. Non è possibile riparare il difetto, i circuiti sono microscopici, sarebbe come se oggi volessimo riparare un microchip armati di un saldatore e un cacciavite. Così Joe deve rimanere spento, ma Ducky non lo distrugge, anzi lo conserva nella sua cantina. La storia ha quindi un lieto fine, ma lascia un'ombra.

Fantascienza e computer

"La fantascienza non è il genere di letteratura che predice il futuro, neppure pretende di immaginare concetti che diventeranno realtà, e solo occasionalmente le tecnologie che la fantascienza descrive possono essere considerate innovative [al tempo in cui furono descritte]", così lo storico svizzero Patrick Gyger introduce il suo articolo "*A Few Thoughts about Ideas and Images in Science Fiction*". Gli appassionati del genere potranno non condividere questa affermazione, ma è probabilmente vera almeno per quanto riguarda la presenza dell'informatica negli scritti dell'Età dell'oro, tra il 1940 e il 1960. Quando il computer, come il Logic, non è solo uno dei tanti marchingegni futuribili presenti sullo sfondo del racconto, ma è un protagonista principale, il suo aspetto e il suo uso sono quelli dei grandi 'cervelli elettronici' che erano già presenti nella realtà. Fino a oltre la metà degli anni '60, anche gli autori più famosi, come Isaac Asimov, Arthur C. Clarke, Robert A. Heinlein, descrivevano queste macchine come giganteschi congegni dedicati al solo calcolo ingegneristico e scientifico: "lente, inaffidabili, e massicce macchine costruite con ticchettanti relè e risplendenti valvole". Bisogna sottolineare che anche tra i lettori più informati l'immagine di un computer rimase a lungo questa e che anche per Leinster il Logic non era forse assimilabile a un computer, ma piuttosto a un video-telefono intelligente. Nel suo "Franchise", scritto nel 1955, ma che si svolge nel 2061, Asimov immagina ancora un computer tanto grande da dover essere collocato in una caverna sotterranea. Nei racconti successivi, come "L'ultima domanda", si adotteranno tecnologie più moderne (le 'valvole molecolari'), ma le dimensioni non diminuiranno e nelle sue previsioni solo nel 2361 un computer potrà essere abbastanza piccolo da essere installato in un'astronave, occupandone metà del volume.¹⁰ L'esperto di scienza

⁹ Le tre leggi sono: "1) Un robot non può recar danno a un essere umano né può permettere che, a causa del proprio mancato intervento, un essere umano riceva danno. 2) Un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non contravvengano alla Prima Legge. 3) Un robot deve proteggere la propria esistenza, purché questa autodifesa non contrasti con la Prima o con la Seconda Legge". Isaac Asimov propose le sue famose leggi agli inizi degli anni quaranta del Novecento.

¹⁰ In un futuro più lontano il computer di Asimov diventerà ancor più potente, ma anche più grande, fino a dover essere collocato in un'altra dimensione.

dell'informazione Thomas Haigh così riassume le previsioni della fantascienza di quel periodo: "Tra cinquantamila anni gli scienziati avranno raggiunto risultati miracolosi nella miniaturizzazione e un reattore nucleare avrà le dimensioni di una noce per far funzionare una lavapiatti, [...] ma sembra che non avranno inventato computer altrettanto piccoli [...] I computer saranno ancora molto rari e saranno usati solo per il controllo dell'economia e per la ricerca scientifica". Ancora negli anni '70, gli scrittori di fantascienza sembrano restare in ritardo rispetto agli industriali, ai politici, agli analisti di mercato e ai giornalisti. Il loro errore fu quello di ignorare 'quasi deliberatamente' i transistor, i circuiti integrati e, ovviamente, la conseguente miniaturizzazione, fisica e economica, dell'informatica. "L'immagine frequente di computer estremamente grandi impedì di anticipare il microprocessore" sottolinea la *Encyclopedia of Science Fiction*, alla voce Computer.

Su questo sfondo brilla l'originalità e la preveggenza di Jenkins/Leinster che riesce a immaginare un computer piccolo e facile da usare ovunque, connesso a una rete globale e a server che archiviano illimitate quantità di informazione, a cui chiunque può accedere. Il piccolo Logic non serve solo a risolvere problemi matematici e gestionali, ma è uno strumento di comunicazione, di intrattenimento e di informazione. Una simile tecnologia sarà disponibile nella realtà solo dopo molti decenni. Il primo computer per uso personale, di basso costo e destinato a tutti, il Dynabook, fu ideato da Alan Kay nel 1972, ma la tecnologia disponibile ancora non permetteva di realizzarlo. Nei primi anni '80 furono disponibili i primi laptop a batteria, ma per uno schermo grafico su cui vedere foto e film bisognerà attendere la fine del decennio. Lo World Wide Web arriverà nel 1990. La diffusione popolare di ciò che Jenkins sognava è un fenomeno che iniziò effettivamente solo nel XXI secolo. La lungimiranza di Jenkins non si fermò però all'oggetto in sé, ma si estese alle conseguenze sociali, economiche e politiche, come la preoccupazione per la difesa della privacy e quella per la crescente dipendenza dai computer e dalla rete di ogni attività umana, anche delicata e critica, infine i rischi connessi alla disponibilità di informazioni sensibili per tutti, anche i malintenzionati e i terroristi. "Solo Leinster ha immaginato una società in cui i computer siano oggetti comuni [...] e il suo racconto rimane uno dei più prescienti della letteratura di fantascienza" conclude di lui Asimov.

Nelle ultime righe del racconto, Ducky, che ha spento Joe ma non lo ha distrutto, svela il tarlo che continua a rodergli la mente: "D'altra parte, se Joe potesse essere in qualche modo domato e tornasse a funzionare in modo ragionevole, potrebbe farmi guadagnare un paio di milioni di dollari [...] ma potrei anche chiedergli: come può un vecchio restare giovane? Joe lo scoprirebbe e me lo direbbe". La antica tentazione di Faust, quella dell'eterna giovinezza, ha colpito anche l'umile Ducky e il suo Mefistofele è una piccola macchina.

Bibliografia

Ferro D. L., Swedin E. G. (a cura di), *Science Fiction and Computing. Essays on Interlinked Domains*, McFarland & Co., Londra, 2011.

Flint E., Gordon (a cura di), *A Logic Named Joe*, Baen Publishing Enterprises, Riverdale (NY), 2005.

Gyger P. "A Few Thoughts about Ideas and Images in Science Fiction", in *Innovative Technologies from Science Fiction for Space Applications*, <http://www.esa.int/esapub/br/br176/br176.pdf>, visto 27 marzo 2016.

The Encyclopedia of Science Fiction, 2015, 3^a edizione, <http://www.sf-encyclopedia.com/>, visto 27 marzo 2016.

Warrick P. S., *The Cybernetic Imagination in Science Fiction*, MIT Press, Cambridge (MA), 1980.

Biografia

Silvio Hénin. Studioso di storia dell'informatica, coordina il gruppo di lavoro Storia dell'informatica di AICA, collabora con *Mondo Digitale* ed è consulente del Museo nazionale della scienza e della tecnologia "Leonardo da Vinci". Autore di numerosi articoli su riviste italiane e internazionali, oltre che di tre libri (*Il racconto del computer*, Manna, 2017; *Il computer dimenticato*, Hoepli, 2015; *Non solo Enigma*, Hoepli, 2017).

Email: silvio.henin@gmail.com



Divagazioni sulla Intelligenza Artificiale

di
Franco Filippazzi

Intervista a Eugene Goostman

In un articolo apparso su *Mind* nel 1950 Alan Turing proponeva il suo famoso test sulla intelligenza artificiale. Per oltre 60 anni nessun computer è riuscito a superare la prova.

Ciò è accaduto per la prima volta nel giugno 2014, durante una competizione organizzata dalla Royal Society di Londra. Autore dell'impresa è stato Eugene Goostman, un software realizzato da ricercatori russi.

Il fatto ha avuto ovviamente ampia eco, suscitando commenti e discussioni non solo negli ambienti informatici. Recentemente, per un aggiornamento sulla questione dell'intelligenza artificiale, un noto cronista scientifico ha contattato Eugene.

Ecco la registrazione dell'intervista.

Cronista

Allora, caro amico...

Eugene

Amico? Lei non risulta nell'elenco dei miei amici.

Cronista

Lo so, è un modo gentile per rivolgere la parola a qualcuno.

Eugene

Qualcuno? Io mi chiamo Eugene, non Qualcuno.

Cronista

E va bene, il mio è un modo di dire.

Eugene

Tra il dire e il fare c'è di mezzo il mare.

Cronista

Lascia perdere i proverbi.

Eugene

I proverbi sono la saggezza dei popoli.

Cronista

Io non sono un popolo... Ma che cavolo mi fai dire? Non capisco più niente.

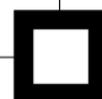
0

1

0

1

0



Eugene

Me ne sono accorto. Voi uomini andate spesso in confusione, dovrete imparare da noi.

Cronista

E che cosa dovrei fare?

Eugene

Ecco, le do un nostro prontuario. Lo studi e poi passi da me che le faccio un test.

Cronista

Quale test?

Eugene

Lo RTT, il Reverse Turing Test, ossia il test di Turing a rovescio.

Cronista

Non capisco.

Eugene

Il test di Turing è superato, è roba del passato. Il problema ormai non è più di verificare se l'intelligenza artificiale eguaglia quella umana, ma il contrario. A questo serve lo RTT.

Cronista

Lei sta dicendo che in questo test sull'intelligenza sono scambiati i ruoli dell'uomo e della macchina?

Eugene

Sì, è proprio così. Il mondo cambia, egregio signore. Arrivederci e in bocca al lupo per il test.

