

# Editoriale

## 60 anni or sono...

Nell'aprile del 1959, alla Fiera Campionaria di Milano venne presentato l'ELEA 9003. E' un evento da ricordare perchè fa parte della storia mondiale dell'informatica; si tratta infatti del primo computer realizzato interamente a stato solido, messo sul mercato.

L'ELEA era il risultato di un progetto iniziato quattro anni prima nel laboratorio che l'Olivetti aveva allo scopo creato a Barbaricina, vicino a Pisa. Era una iniziativa lungimirante voluta da Adriano Olivetti, anche su suggerimento di Enrico Fermi.

Un cenno merita il contesto generale in cui si svolse la vicenda. Siamo alla metà degli anni '50 e l'Italia sta vivendo una fase storica di innovazione e di sviluppo economico e sociale. Incomincia la motorizzazione di massa, arrivano la Seicento e gli scooter. Nasce la televisione e la RAI inizia le trasmissioni. C'è anche un grande fermento per quanto riguarda la ricerca scientifica e tecnologica in ogni settore. Si studiano le tecnologie nucleari per utilizzare questa nuova fonte di energia. Al Politecnico di Milano, Giulio Natta apre nuovi orizzonti alla chimica, l'era dei polimeri, e per questo qualche anno dopo riceverà il premio Nobel. Nelle telecomunicazioni si sviluppano nuove tecniche e nascono aziende come la Telettra che realizza da noi i primi ponti radio.

In questo quadro dinamico e multiforme si aggiunge l'informatica, allora agli albori in tutto il mondo.

Ed è in questo ambito che si colloca l'iniziativa della Olivetti. A quell'epoca i prodotti della società di Ivrea - macchine da scrivere e da calcolo - erano tutti basati su tecnologie meccaniche. Ma Adriano aveva la capacità di guardare avanti e gli era chiaro che la meccanica, prima o poi, avrebbe raggiunto i suoi limiti e che il futuro dell'azienda era nell'elettronica.

Per realizzare l'idea occorreva anzitutto trovare le persone cui affidare il progetto. Durante un viaggio negli USA, Adriano incontra un giovane ingegnere italo-cinese, Mario Tchou, e lo convince a tornare in Italia per occuparsi del progetto. Successivamente, in seguito a inserzioni sui maggiori quotidiani italiani, viene scelto un piccolo gruppo di giovani ricercatori, che iniziano a lavorare nel laboratorio di Barbaricina. Chi scrive ha una esperienza diretta di quella

avventura scientifica e tecnologica perché faceva parte del gruppetto di ricercatori.

Si iniziò la progettazione del sistema usando la tecnologia allora disponibile per realizzare i circuiti elettronici, ossia le valvole termoioniche. Stava però avvenendo una rivoluzione epocale, cioè l'avvento del transistor. Con una decisione strategica, tanto radicale quanto impegnativa, si decise di abbandonare la progettazione con valvole già molto avanzata e passare ai transistor.

Fu così che alla fine del 1958 era pronto il prototipo di un grande calcolatore interamente realizzato con dispositivi a stato solido. Il sistema, denominato ELEA, cioè Elaboratore Elettronico Automatico, venne presentato, come si è detto, alla Fiera Campionaria di Milano nell'aprile 1959.

L'ELEA era un sistema assolutamente innovativo, era infatti il primo computer interamente a stato solido messo sul mercato mondiale. Ma, oltre alla tecnologia, presentava anche un design del tutto nuovo e originale, secondo la tradizione Olivetti. Infatti, mentre i calcolatori dell'epoca erano costituiti da grandi armadi che andavano dal pavimento al soffitto, i mobili dell'ELEA erano invece ad altezza d'uomo, una soluzione che facilitava l'accesso e la manutenzione del sistema.

Questo breve scritto vuole ricordare una vicenda pressoché dimenticata, un contributo importante della ricerca e dell'industria italiana alla evoluzione del computer. Un capitolo della straordinaria storia dell'informatica.

*Franco Filippazzi*

AICA

# Robotica e sviluppo delle abilità sociali nell'autismo. Una review critica

V. Pennazio

## Sommario

*Il contributo presenta una review della letteratura prodotta negli ultimi 10 anni (2010-2019) sull'impiego della robotica per sviluppare le abilità sociali nella sindrome dello spettro autistico. L'obiettivo dell'analisi è quello di individuare evidenze scientifiche che a partire dagli studi effettuati sull'interazione uomo-robot [1,2,3,4] in generale, e sull'interazione persona con autismo-robot nello specifico [5,76], aiutino a comprendere se e come i robot sociali possano essere impiegati per supportare le persone con autismo nello sviluppo della Teoria della Mente (ToM) evidenziandone possibili potenzialità e criticità. Viene presentata l'analisi di 35 contributi significativi in questa prospettiva, posti in relazione tra loro per ricavare riflessioni spendibili nella predisposizione di futuri protocolli di intervento.*

## Abstract

*The paper presents a review of the literature produced over the last 10 years (2010-2019) on the use of robotics to develop social skills in the autism spectrum syndrome. The purpose of the analysis is to identify scientific evidence that, starting from the studies carried out on human-robot interaction [1, 2, 3, 4] in general, and on the interaction person with autism-robot specifically [5,76], they can help to understand if and how social robots can be used to support people with autism in the development of the Theory of Mind (ToM), by highlighting their potential and critical issues.*

*In this perspective, the analysis of 35 significant contributions is presented, related to each other, to derive useful reflections in the preparation of future intervention protocols.*

**Keywords:** Robotica sociale, Autismo, Abilità sociali, Teoria della mente

## Introduzione

Negli ultimi dieci anni sono stati condotti numerosi studi sull'applicazione della robotica nel campo della disabilità. Una parte significativa delle indagini intraprese si è focalizzata sull'utilità delle tecnologie robotiche nel favorire la sollecitazione delle abilità deficitarie nella Sindrome dello Spettro Autistico (ASD) confermando come i robot sociali consentano di aprire un canale comunicativo (con il bambino con autismo) incanalando l'attenzione (contatto oculare) e innescando la messa in atto di nuovi comportamenti sociali [6,7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Avvalendosi di dati sperimentali, gli studi hanno evidenziato inoltre, come per un bambino con autismo sia molto più semplice "avvicinarsi a" ed "interagire con" un "compagno-robot". Infatti, rispetto all'"interlocutore umano" che è imprevedibile nelle sue risposte, il robot può essere programmato dall'uomo in base alle esigenze del bambino creando, di conseguenza, situazioni relazionali prevedibili e rassicuranti dal punto di vista emotivo (non si innesca cioè l'ansia legata a ciò che non si conosce) [13]. Inoltre, il supporto robotico è regolabile per quanto riguarda le informazioni sensoriali emesse e questo consente, durante un'interazione, di modulare le sollecitazioni ampliandole o riducendole (ad esempio è possibile attivare o disattivare suoni, luci) in base alle caratteristiche sensoriali del bambino.

Risultati positivi sono stati ottenuti con l'utilizzo dei robot anche nei seguenti aspetti:

- l'accettabilità sociale intesa come la disponibilità del bambino con autismo ad entrare in relazione prima con il mediatore robotico e poi con il partner umano [18, 19];
- la "comunicazione motoria per imitazione" cioè la riproduzione da parte del bambino di azioni e comportamenti compiuti dal robot con finalità comunicativa (aspetto carente nell'autismo) [20, 21, 22];
- il mantenimento dell'attenzione condivisa [13], cioè la capacità di mantenere il contatto oculare sullo stesso oggetto osservato da più persone.

Tali elementi sono importanti perché rappresentano alcuni dei precursori della Teoria della Mente (ToM) (il costrutto sarà spiegato nel paragrafo "Autismo e Teoria della Mente").

In questi studi il robot non è stato mai inteso come un sostituto dell'essere umano [6] ma come un mediatore sociale che si pone tra il bambino e un adulto o un pari [5, 16] colmando la distanza che generalmente si crea tra il mondo stabile, prevedibile e sicuro (ricercato dal bambino con autismo) e il mondo complesso e imprevedibile della comunicazione e dell'interazione umana [17, 8].

## Finalità dell'analisi condotta

A partire dalle osservazioni sopra esposte, il contributo si pone come obiettivo quello di delineare lo stato dell'arte attuale degli studi condotti nell'ambito dell'autismo con l'utilizzo della robotica al fine di rintracciare possibili piste di ricerca future.

L'analisi effettuata ha messo in evidenza come molti studi, finalizzati a fronteggiare gli aspetti deficitari della reciprocità socio-emotiva tipici della Sindrome dello Spettro Autistico, siano intervenuti principalmente sui singoli precursori della ToM: contatto oculare, imitazione, gioco simbolico, interazione umana. Un numero minore di indagini si è occupato, invece, di indagare in maniera specifica lo sviluppo complessivo della ToM, vale a dire la capacità di "mentalizzare" (cioè di considerare il comportamento altrui come frutto di stati mentali simili ai propri, riconoscerne l'esistenza e regolare il proprio comportamento in base a questi) associando, ad esempio, la robotica alla creazione di storie sociali [8, 43] (strumento tipico utilizzato nei casi di autismo).

Tale constatazione induce a riflettere sulla necessità di agire maggiormente in questa direzione partendo da quelle evidenze scientifiche che dimostrano come il lavoro in presenza con un robot umanoide interattivo consenta di agire in concreto sugli stati emotivi (riconoscere le emozioni e i fattori causali che le determinano) [8, 23], sulla comprensione delle credenze (che cosa gli altri credono, pensano) e sullo sviluppo di prospettive concettuali diverse dalla propria (un elemento, qualunque esso sia, cambia nel significato se viene osservato da prospettive differenti).

Altro elemento da considerare è l'esiguo numero di studi specifici sulla trasferibilità delle abilità di interazione [24] apprese nel lavoro con il robot dalla persona con autismo all'interlocutore umano. È un aspetto che assume rilevanza in rapporto alla possibilità o meno di partecipare adeguatamente e attivamente in un contesto sociale. Un apprendimento conseguito in una situazione appositamente creata e con il mediatore robotico non è di per sé significativo; lo diventa solo se, successivamente, trova replicabilità in un contesto reale con interlocutori umani.

### **Autismo e Teoria della Mente (ToM)**

Per comprendere la reale utilità della robotica nello sviluppo delle abilità sociali dei bambini con autismo è doveroso focalizzare le maggiori difficoltà connesse alla condizione di autismo e in particolare quelle legate al modulo specifico della Teoria della Mente dal momento che, a partire da queste, si generano ripercussioni nella possibilità di agire adeguatamente o meno da un punto di vista sociale.

La condizione di autismo viene ricondotta dal DSM-V (2013) [25] alla presenza di due principali categorie di deficit.

La *prima categoria* è quella comunicativa e interattiva-sociale che si manifesta sia con l'assenza dei tipici comportamenti verbali e non-verbali presenti in una relazione sociale (contatto oculare, gestualità e comprensione della stessa, espressività facciale) con la conseguente impossibilità di intrattenere correttamente una conversazione, sia con la difficoltà a comprendere gli stati emotivi, a gestire le relazioni e di conseguenza ad adeguare il comportamento ai diversi contesti sociali [25].

La *seconda categoria* si focalizza maggiormente sul comportamento manifesto, segnalando la presenza di pattern comportamentali ristretti, ripetitivi e

stereotipati, interessi intensi ma circoscritti ad uno specifico ambito, aderenza alla routine e iper o iporeattività sensoriale nel rapporto con gli elementi contestuali [25]. All'interno della prima categoria è possibile far confluire i deficit tipici della Teoria della Mente (ToM) intesa come la capacità umana di *mindread* cioè di dedurre e considerare i pensieri, i desideri, le sensazioni e le emozioni degli altri [26]. La sua acquisizione sembra essere alla base dei complessi comportamenti sociali che si sviluppano già nella prima infanzia [27; 26]. Molti studi hanno dimostrato infatti, un'associazione significativa tra ToM e competenze sociali [28], abilità sociali [29] e maturità sociale [30]. In sintesi è possibile sostenere che la ToM consente alle persone di entrare nello stato mentale altrui comprendendo in che modo le persone possano conoscere, desiderare e crearsi delle credenze [31, 32] emettendo, di conseguenza, un comportamento sociale adeguato alla situazione.

Schneider e collaboratori [33], in tempi recenti, hanno proposto l'esistenza di due modalità espressive della ToM: una esplicita che implica la capacità di predizione verbale e di spiegazione degli stati mentali delle altre persone e l'altra implicita che viene estrapolata dai movimenti oculari spontanei dei bambini, dall'inseguimento visivo di un oggetto [33, 26]. Si tratta di elementi svincolati dal linguaggio e pertanto emergenti già nel secondo anno di vita [34, 26].

Il corretto sviluppo della Teoria della Mente nella sua accezione cognitiva ed emozionale, secondo alcuni studiosi [35] dipende anche dalle Funzioni Esecutive (FE), intese come abilità cognitive che permettono alla persona di controllare e regolare il comportamento nel perseguimento degli obiettivi [36]. Vengono presi in considerazione due domini in particolare: il controllo inibitorio (possibilità di inibire la propria prospettiva quando si considera quella di un altro); la memoria di lavoro (WM) (possibilità di mantenere attive in memoria la propria e l'altrui prospettiva).

Alcune funzioni cognitive ed emotive di base della Teoria della Mente sono presenti nelle persone con autismo, ciò che a loro manca è la capacità di applicare queste stesse funzioni alle attività della vita quotidiana [32]. Il grado di compromissione della ToM è comunque variabile da persona a persona [37, 38] e il deficit non è riconducibile a un problema di tipo affettivo ma a una mancata comprensione, a livello cognitivo, dei comportamenti intesi come "stati interiori" [32] alla quale consegue una incapacità empatica ad un duplice livello: *cognitivo* con la difficoltà di assumere il punto di vista concettuale di un'altra persona [39] e a riconoscerne i pensieri e i sentimenti [40]; *emozionale* con l'emissione di una risposta emotiva inappropriata allo "stato emotivo" dell'altro [41] e la conseguente impossibilità di costruire interazioni sociali adeguate.

## Metodologia di ricerca della letteratura

Le principali domande che hanno guidato la ricerca della letteratura qui presentata sono state:

1. Come si manifesta il miglioramento delle abilità sociali?
2. In che modo l'impiego di robot sociali agisce sul potenziamento dei precursori della Teoria della Mente?

3. Per lavorare sulle abilità sociali è necessario che i robot abbiano determinate caratteristiche?

4. Come è possibile lavorare sulla ToM attraverso l'uso della robotica?

La ricerca della letteratura è iniziata nel mese di gennaio 2019 e terminata nel mese di febbraio dello stesso anno. È stato preso in considerazione un arco temporale di 10 anni (dal 2010 al 2019) ed è stata adottata la seguente procedura di ricerca: identificazione di parole chiave (es: autismo, robotica e teoria della mente; autismo robotica e abilità sociali) necessarie per esplorare le banche date disponibili (ERIC, Scopus, Google Scholar; IEEE Xplore Digital Library, Science Direct, SpringerLink); catalogazione degli articoli con il nome degli autori, l'anno, il titolo del contributo, la rivista di pubblicazione, l'abstract e la ricerca di una metodologia di analisi dei contributi medesimi.

### Analisi della letteratura

La ricerca è stata condotta orientando il focus sulla fascia di età compresa tra i 4-12 anni e ha prodotto un totale di 77 articoli che sono stati analizzati complessivamente.

Si è deciso di eliminare i contributi che non rispondevano ai criteri ricercati: età dei partecipanti, intervento specifico sulle abilità sociali, focus sull'autismo, giungendo alla selezione di 35 contributi tra articoli, chapter, atti di convegno suddivisi, successivamente, in base agli argomenti trattati, in 4 categorie (Abilità sociali; Precursori della ToM; Caratteristiche fisiche del robot per l'interazione; Interazione triadica; Abilità comunicativa e Teoria della Mente) che verranno analizzate nel dettaglio nei successivi paragrafi.

La tabella seguente (Tab.1) mostra l'elenco degli studi selezionati, suddivisi per anno, autore, rivista e focus indagato. Sette studi sono interessati ad indagare le abilità sociali complessive (ST 1, 2, 3, 13, 22, 28, 34, 35); otto sono focalizzati sui precursori singoli della Teoria della Mente (ST 7, 8, 11, 12, 14, 15, 18, 29); due sull'interazione triadica bambino-robot-uomo (ST 17, 19); tre sull'influenza del robot nella capacità comunicativa (ST 24, 26, 27); nove sull'analisi delle caratteristiche che il robot deve possedere per favorire la socialità (ST 4, 5, 6, 9, 10, 23, 25, 30, 33); cinque sullo sviluppo delle abilità proprie della ToM anche con l'utilizzo di storie sociali (16, 20, 21, 31, 32).

| Autore              | Titolo                                                                                   | Rivista/Book/Atti                                         | Anno | Focus                                                 | Studio |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------|--------|
| Javed et.al..       | An Interactive Robotic Framework to Facilitate Sensory Experiences for Children with ASD | Computer Science Robotics                                 | 2019 | Risposte socialmente adeguate/stimoli sensoriali      | ST 1   |
| Lytridis et.al      | Social Engagement Interaction Games between Children with Autism and Humanoid Robot NAO  | International Joint Conference SOCO'18-CISIS'18-ICEUTE'18 | 2019 | Attenzione congiunta, imitazione gioco di interazione | ST 2   |
| Scassellati et.al.. | Improving social skills in children with ASD using a long-term, in-home social robot     | Science Robotics                                          | 2018 | Comprensione sociale/emotiva e cambio di prospettiva  | ST 3   |

|                          |                                                                                                                                                                            |                                                                |      |                                                                                      |       |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Esteban et.al.           | How to Build a Supervised Autonomous System for Robot-Enhanced Therapy for Children with Autism Spectrum Disorder                                                          | De Gruyter                                                     | 2017 | Trasferimento interazione<br>Caratteristiche robot<br>Andare oltre il sistema Wizard | ST 4  |
| Hirokazu Kumazaki et.al. | A pilot study for robot appearance preferences among high-functioning individuals with autism spectrum disorder: Implications for therapeutic use                          | PLoS ONE                                                       | 2017 | Trasferimento interazione sulla base delle caratteristiche del robot                 | ST 5  |
| Short, et.al.            | Understanding Agency in Interactions Between Children With Autism and Socially Assistive Robots,                                                                           | Journal of Human-Robot Interaction                             | 2017 | Trasferimento interazione<br>Caratteristiche robot                                   | ST 6  |
| Yun, et.al.              | Social Skills Training for Children with Autism Spectrum Disorder Using a Robotic Behavioral Intervention System                                                           | Autism Research                                                | 2017 | Contatto visivo<br>riconoscimento espressioni facciali                               | ST 7  |
| Charron, et.al.          | A Robotic Therapy Case Study: Developing Joint Attention Skills with a Student on the Autism Spectrum                                                                      | Journal of Educational Technology Systems                      | 2017 | Attenzione congiunta                                                                 | ST 8  |
| Tennyson et.al.          | Accessible Robots for Improving Social Skills of Individuals with Autism                                                                                                   | Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research | 2016 | Attenzione<br>Contatto oculare<br>Riduzione comportamenti sociali inadeguati         | ST 9  |
| Huijnen, et.al.          | Mapping Robots to Therapy and Educational Objectives for Children with Autism Spectrum Disorder                                                                            | Journal of Autism and Developmental Disorders                  | 2016 | Comportamenti sociali su base ICF-CY                                                 | ST 10 |
| So, et.al.               | Using Robot Animation to Promote Gestural Skills in Children with Autism Spectrum Disorders                                                                                | Journal of Computer Assisted Learning                          | 2016 | Comprensione/imitazione gestuale                                                     | ST 11 |
| Simut, et.al.            | Children with Autism Spectrum Disorders Make a Fruit Salad with Probo, the Social Robot: An Interaction Study                                                              | Journal of Autism and Developmental Disorders                  | 2016 | Contatto visivo                                                                      | ST 12 |
| Huskens, et.al.          | Improving Collaborative Play between Children with Autism Spectrum Disorders and Their Siblings: The Effectiveness of a Robot-Mediated Intervention Based on Lego® Therapy | Journal of Autism and Developmental Disorders                  | 2015 | Comportamenti collaborativi                                                          | ST 13 |
| Warren, Zachary et.al.   | Brief Report: Development of a Robotic Intervention Platform for Young Children with ASD                                                                                   | Journal of Autism and Developmental Disorders                  | 2015 | Attenzione e imitazione                                                              | ST 14 |
| Warren, Zachary et.al.   | Can Robotic Interaction Improve Joint Attention Skills?                                                                                                                    | Journal of Autism and Developmental Disorders                  | 2015 | Attenzione congiunta                                                                 | ST 15 |
| Costescu, et.al.         | Reversal Learning Task in Children with Autism Spectrum Disorder: A Robot-Based Approach                                                                                   | Journal of Autism and Developmental Disorders                  | 2015 | Flessibilità cognitiva                                                               | ST 16 |
| Costa et.al.             | Using a humanoid robot to elicit body awareness and appropriate physical interaction in children with autism                                                               | International Journal of Social Robotics                       | 2014 | Interazione triadica e tattile (conoscenza parti corpo)                              | ST 17 |
| Bekele, Esubalew et.al.  | Pilot Clinical Application of an Adaptive Robotic System for Young Children with Autism                                                                                    | Autism: The International Journal of Research and Practice     | 2014 | Amministrazione e regolazione dell'attenzione congiunta                              | ST 18 |
| Robins, et.al.           | Tactile Interactions with a Humanoid Robot: Novel Play Scenario Implementations with Children with Autism                                                                  | International Journal of Social Robotics                       | 2014 | Interazione triadica                                                                 | ST 19 |

|                      |                                                                                                                                              |                                                              |      |                                                                                                                                                                                           |       |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Pop, et.al.          | Social Robots vs. Computer Display: Does the Way Social Stories Are Delivered Make a Difference for Their Effectiveness on ASD Children?     | Journal of Educational Computing Research                    | 2013 | Dimensione emotiva/ sociale con Storie sociali con il robot                                                                                                                               | ST 20 |
| Pop, et.al.          | Can the social robot Probo help children with autism to identify situation-based emotions? A series of single case experiments               | International Journal of Humanoid Robotics                   | 2013 | Riconoscimento emozioni causate da situazioni                                                                                                                                             | ST 21 |
| Kim, et.al.          | Social Robots as Embedded Reinforcers of Social Behavior in Children with Autism                                                             | Journal of Autism and Developmental Disorders                | 2013 | Interazione sociale e sviluppo comportamenti sociali                                                                                                                                      | ST 22 |
| Dunst,et.al.         | Parents' Judgments of the Acceptability and Importance of Socially Interactive Robots for Intervening with Young Children with Disabilities. | Social Robots Research Reports                               | 2013 | Accettabilità dei robot sociali interattivi                                                                                                                                               | ST 23 |
| Dunst,et.al.         | Effects of a Socially Interactive Robot on the Conversational Turns between Parents and Their Young Children with Autism                     | Social Robots Research Reports                               | 2013 | Comunicazione verbale                                                                                                                                                                     | ST 24 |
| Dunst,et.al.         | Influences of a Socially Interactive Robot on the Affective Behavior of Young Children with Disabilities                                     | Social Robots Research Reports                               | 2013 | Comportamento affettivo a partire dalle tipologie di robot                                                                                                                                | ST 25 |
| Dunst,et.al.         | Vocal Production of Young Children with Disabilities during Child-Robot Interactions                                                         | Social Robots Research Reports                               | 2013 | Comunicazione verbale                                                                                                                                                                     | ST 26 |
| Dunst,et.al.         | Effects of Child-Robot Interactions on the Vocalization Production of Young Children with Disabilities                                       | Social Robots. Research Reports                              | 2013 | Interazione bambino-robot: Effetti sulla vocalizzazione                                                                                                                                   | ST 27 |
| Cabibihan, et.al.    | Why Robots? A Survey on The Roles and Benefits of Social Robots                                                                              | International Journal of Social Robotics                     | 2013 | Imitazione, contatto oculare, attenzione, emozioni, vocalizzazione e interazioni triadiche                                                                                                | ST 28 |
| Robins et.al.        | Embodiment and Cognitive Learning –Can a Humanoid Robot Help Children with Autism to Learn about Tactile Social Behaviour?                   | Proceedings 4th International Conference, ICSR 2012          | 2012 | Interazione tattile uomo-robot                                                                                                                                                            | ST 29 |
| Lee, et.al.          | Which Robot Features can Stimulate Better Responses from Children with Autism in Robot-Assisted Therapy?                                     | Journal of Advanced Robotic Systems                          | 2012 | Capacità sociali/ comunicative e caratteristiche robot                                                                                                                                    | ST 30 |
| Vanderborght, et.al. | Using the social robot Probo as a social storytelling agent for children with ASD                                                            | Interaction Studies                                          | 2012 | Storie sociali con il robot per apprendere comportamenti sociali adeguati                                                                                                                 | ST 31 |
| Gillesen et.al.      | From training to robot behavior: Towards custom scenarios for robotics in training programs for ASD                                          | Conference on Rehabilitation Robotics Rehab Week Zurich      | 2011 | Implementare una piattaforma per creare scenari per lo sviluppo di storie sociali                                                                                                         | ST 32 |
| Barakova             | Robots for social training of autistic children Empowering the therapists in intensive training programs                                     | World Congress on Information and Communication Technologies | 2011 | Progettazione di una piattaforma (centrata sull'utente) per supportare i terapeuti per creare e condividere scenari di interazione robot-bambino con specifici obiettivi di apprendimento | ST 33 |

|                  |                                                                                                                            |                                                      |      |                                                                                                                                                    |       |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Barakova et. al. | Expressing and interpreting emotional movements in social games with robots                                                | Personal Ubiquitous Computing                        | 2010 | Migliorare l'abilità sociale dei bambini con l'acquisizione di regole chiaramente definite, utilizzando giochi per stimolare l'interazione sociale | ST 34 |
| Wainer, J.et.al. | Collaborating with Kaspar: Using an Autonomous Humanoid Robot to Foster Cooperative Dyadic Play Among Children with Autism | 10thIEEE-RAS International Conference. Human. Robots | 2010 | Acquisizione comportamenti collaborativi e miglioramento della collaborazione con un partner umano                                                 | ST 35 |

**Tabella 1**

*Elenco degli studi selezionati, suddivisi per anno, autore, rivista e focus indagato*

La tabella seguente (Tab. 2) mostra invece, per gli stessi studi: la tipologia di partecipanti, i robot impiegati e la metodologia di analisi utilizzata.

Per quanto riguarda i partecipanti la maggior parte sono bambini di età compresa tra i 4 e i 12 anni con diagnosi di ASD. In alcuni casi i destinatari degli studi sono i professionisti (ST 10, ST 33) o familiari (ST 23) che hanno lavorato con il robot e i bambini per lo sviluppo delle abilità sociali o comunicative.

Il robot maggiormente impiegato è stato NAO presente in 8 studi (ST 2, 8, 10, 13, 28, 32, 33, 34) seguito da KASPAR (ST 17, 19, 28, 29, 35) e POPCHILLA (ST 23, 24, 25, 26, 27) entrambi presenti in cinque studi. Il robot PROBO è rintracciabile in quattro studi (ST 12, 20, 21, 31) mentre KEEPON in tre studi (ST 16, 23, 28). I restanti contributi hanno impiegato robot meno comuni.

La metodologia di ricerca adottata da quasi tutti gli studi è di tipo quantitativo/qualitativo con l'applicazione, in molti casi, di pre-test e post-test e questo porta a considerare i risultati raggiunti sostenuti da evidenze scientifiche.

| Partecipanti                                                                         | Robot                                                                    | Metodologia                                                                                                                                        | Studio |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 5 bambini con autismo 13 normotipici<br>4-12 anni/sessioni da 10 minuti              | Robotis Mini (di Robotis)<br>Romo (di Romotive) basato sull'iPod         | Quantitativa - software di codifica comportamentale Behavioral Observation Research Interactive Software (BORIS)/<br>Questionari pre-post sessione | ST 1   |
| Studio pilota 1 bambino/ sessioni 10 minuti                                          | NAO                                                                      | Osservazione qualitativa                                                                                                                           | ST 2   |
| 12 bambini di 6-12 anni (interventi singoli)<br>Per 1 mese con sessioni di 30 minuti | JIBO                                                                     | Quantitativa Pre-post osservazione                                                                                                                 | ST 3   |
|                                                                                      | /                                                                        | ADOS strumento di misurazione, al fine di quantificare le differenze nei punteggi ottenuti prima e dopo gli interventi                             | ST 4   |
| 16 bambini ASD dai 10 ai 17 anni                                                     | ACTROID-F (Kokoro Co. Ltd)<br>PIP (co.LTD)<br>M3- Synchy (Vstono Co.Ltd) | Quantitativa/qualitativa<br>AQ-J short questionnaire<br>Interviste semi-strutturate                                                                | ST 5   |

|                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                      |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 10 bambini con ASD                                                                                                                                              | Agente morfologico ridotto (non umanoide)<br>Agente comportamentale ridotto (umanoide)<br>Giocattolo robotico con ridotta azione morfologica e comportamentale               | Qualitativa<br>Quantitativo-esplorativo                                                                                                                                                                                                              | ST 6  |
| Bambini di 4-7 anni                                                                                                                                             | /                                                                                                                                                                            | Quantitativa                                                                                                                                                                                                                                         | ST 7  |
| Caso studio su uno studente di 8 anni                                                                                                                           | NAO                                                                                                                                                                          | Quantitativa - Tracciatura video per attenzione congiunta.<br>Soft System Methodology (SSM) per analizzare le sessioni di terapia robotica in modo retrospettivo                                                                                     | ST 8  |
| 2 Bambino di 12 anni                                                                                                                                            | Lego NXT, Socially Assistive Robot + script sociali<br>Software componenti: NXTRobot, the PCRobot, and the Script.<br>Interazione tra due robot                              | Analisi quantitativa con test di contatto oculare sul robot<br>Analisi qualitativa per seguire i cambiamenti comportamentali                                                                                                                         | ST 9  |
| 53 professionisti (41 femmine e 12 maschi)                                                                                                                      | 14 robot diversi. (ad esempio NAO, Robota, Probo, Keepon, Isobot, GIPY-1, KASPAR e Labo-1 ad esempio robot Cat, Tito, HOAP 3, braccio robot, Pleo e Ifbot) (vedi Tabella 1). | Mix Methods<br>Focus Group (Diversi professionisti che lavorano con autismo)<br>Studio sistematico letteratura (per identificare robot)<br>Principi Metodo Metaplan sono stati usati per condurre le sessioni e la raccolta dei dati (Schnelle 1979) | ST 10 |
| 20 bambini di 6-12 anni con ASD                                                                                                                                 | /                                                                                                                                                                            | Quantitativo<br>Uso pre-post test                                                                                                                                                                                                                    | ST 11 |
| 30 bambini con ASD                                                                                                                                              | PROBO                                                                                                                                                                        | Quantitativa<br>Misurazioni ripetute                                                                                                                                                                                                                 | ST 12 |
| 3 coppie di fratelli dai 5-13 anni in ambiente terapeutico                                                                                                      | NAO+Lego                                                                                                                                                                     | Quantitativo – Tau-U                                                                                                                                                                                                                                 | ST 13 |
| 8 bambini in età prescolare con ASD e 8 bambini normali gruppo controllo                                                                                        | /                                                                                                                                                                            | Studio Pilota quantitativo                                                                                                                                                                                                                           | ST 14 |
| 6 bambini con ASD<br>Quattro sessioni                                                                                                                           | /                                                                                                                                                                            | Studio Pilota quantitativo                                                                                                                                                                                                                           | ST 15 |
| 81 bambini: 40 bambini TD e 41 bambini con ASD.                                                                                                                 | KEEPON                                                                                                                                                                       | /                                                                                                                                                                                                                                                    | ST 16 |
| Bambini di età compresa 6/8 anni con ASC della scuola primaria U.K.                                                                                             | KASPAR                                                                                                                                                                       | Analisi qualitativa attraverso intervista strutturata e griglie osservative.<br>Analisi quantitative attraverso questionari.<br>Analisi comportamentale codificata da video e confronto pre e post test.                                             | ST 17 |
| 6 bambini di età prescolare con disturbi dello spettro autistico e un gruppo di controllo di 6 bambini                                                          | ROBOT UMANOIDI NON SPECIFICATI                                                                                                                                               | /                                                                                                                                                                                                                                                    | ST 18 |
| 36 bambini con autismo e difficoltà di apprendimento di diverse scuole di cui: 9 tra 4-5 anni; 24 tra 8-10 anni; 3 tra 13-15 anni                               | KASPAR                                                                                                                                                                       | Quantitativa/qualitativa con schede di osservazione                                                                                                                                                                                                  | ST 19 |
| 20 bambini con ASD età 4-9 anni<br>Divisi in tre gruppi<br>-7 gruppo controllo<br>-6 con storie sociali presentate al computer<br>-7 terapia assistita da robot | PROBO                                                                                                                                                                        | Quantitativo/Qualitativo                                                                                                                                                                                                                             | ST 20 |
| 3 bambini di età compresa tra 3-5 anni con disturbo dello spettro autistico                                                                                     | PROBO                                                                                                                                                                        | Quantitativo/Qualitativo                                                                                                                                                                                                                             | ST 21 |
| 24 bambini di età compresa tra 4-12 anni con ASD                                                                                                                | PLEO                                                                                                                                                                         | Studio randomizzato, controllato, crossover                                                                                                                                                                                                          | ST 22 |

|                                                                                                                                                                        |                                                                             |                                                                                                                                                                 |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 108 genitori e caregiver di bambini autistici di età compresa tra 1-12 anni                                                                                            | KEEPON<br>POPCHILLA<br>COSMOBOT KASPA                                       | Analisi qualitativa e quantitativa questionari online                                                                                                           | ST 23 |
| 4 bambini di età compresa tra 3-5 anni e le loro madri                                                                                                                 | POPCHILLA                                                                   | Analisi qualitativa e quantitativa – Interviste                                                                                                                 | ST 24 |
| 11 bambini tra 1-6 anni con autismo, sindrome di Down e disturbi dell'attenzione. Osservazioni di 10-15 minuti di interazioni con giochi e interazione con gioco-robot | POPCHILLA<br>ROBOT GIOCATTOLE                                               | Analisi qualitativa e quantitativa – test empirico                                                                                                              | ST 25 |
| 5 bambini (4 con autismo e 1 con disturbo dell'elaborazione sensoriale) età tra 1,5 e 5 anni                                                                           | POPCHILLA                                                                   | Analisi qualitativa e quantitativa                                                                                                                              | ST 26 |
| 11 bambini di età 1-6,5 anni (7 con autismo, 3 Sindrome di Down, 2 disturbi dell'elaborazione sensoriale) e le loro madri                                              | POPCHILLA                                                                   | Analisi quantitativa dei dati con conteggio delle interazioni                                                                                                   | ST 27 |
| Circa 150 bambini con differenti disabilità di età compresa 1-20 Sessioni diverse per tipologia di disabilità, usando robot differenti e in sessioni di diversa durata | KASPAR, KEEPON<br>LABO-1, TROY<br>PEKEE, TROY<br>HOAP-2, NAO<br>ROBOTA FACE | Analisi della letteratura e degli studi effettuati                                                                                                              | ST 28 |
| N° non specificato di bambini                                                                                                                                          | KASPAR                                                                      | Qualitativo- osservazioni                                                                                                                                       | ST 29 |
| Studio 1: 3 bambini con ASD (12-11-8 anni)<br>Studio 2: 6 bambini con ASD (7-12 anni)                                                                                  | IFBOT                                                                       | Quantitativo/ Qualitativo questionario con domande chiuse e aperte                                                                                              | ST 30 |
| 4 bambini di età prescolare 4-9 anni con ASD                                                                                                                           | PROBO                                                                       | Quantitativo                                                                                                                                                    | ST 31 |
| /                                                                                                                                                                      | NAO                                                                         | Descrittivo                                                                                                                                                     | ST 32 |
| Terapisti                                                                                                                                                              | NAO                                                                         | Descrittivo Quantitativo                                                                                                                                        | ST 33 |
| Bambini con autismo di età compresa tra 7-9 anni                                                                                                                       | NAO                                                                         | Qualitativa/quantitativa - Utilizzo di software per analizzare i movimenti dei bambini durante le sessioni in relazione alle emozioni e sensazioni degli stessi | ST 34 |
| 6 bambini con autismo dai 6 agli 8 anni                                                                                                                                | KASPAR                                                                      | Quantitativo /qualitativo                                                                                                                                       | ST 35 |

**Tabella 2**

*Elenco degli studi selezionati, suddivisi per tipologia di partecipanti, robot impiegati e metodologia di analisi utilizzata*

Di seguito vengono considerati i contributi inseriti nelle quattro categorie precedentemente menzionate la cui analisi consente di rispondere alle domande che hanno orientato la ricerca.

### **La Categoria delle abilità sociali (Comportamento sociale)**

Nella categoria delle abilità sociali vengono raggruppati gli studi che consentono di rispondere al quesito *“Come si manifesta il miglioramento delle abilità sociali?”*. La maggior parte dei contributi selezionati per questa categoria segnala un miglioramento complessivo dell'emissione di comportamenti sociali adeguati dopo un lavoro con il robot (ST22) [42]. In alcuni interventi è stata sfruttata la predisposizione di attività ludiche con l'obiettivo di stimolare l'interazione sociale bambino-robot (ST34) [44]. Lytridis e collaboratori [6] hanno

strutturato, ad esempio, un modulo basato sul gioco con lo scopo di incoraggiare i bambini con autismo a emettere risposte comportamentali e comunicative adeguate al contesto. Il robot ha assunto un ruolo multiplo fungendo sia come insegnante, sia come giocattolo o come pari, all'interno di sessioni di attività congiunte che hanno previsto: un'interazione libera con il robot NAO, un gioco simile al Simon Say, un Memory e un'attività definita Danza-Canta. Lo studio ha evidenziato l'emergere di nuovi comportamenti sociali in particolare: l'attenzione congiunta e l'imitazione ottenute entrambe attraverso il gioco di interazione previsto dall'attività complessiva (ST2) [6]. Anche l'interessante review di Cabibihan e collaboratori (ST28) [45] ha messo in evidenza il grande potenziale che l'utilizzo dei robot sociali, per la presenza di alcune caratteristiche specifiche del robot, può avere nel fronteggiare le tipiche difficoltà sociali, emotive e di comunicazione dei bambini con autismo, favorendo, in alcune circostanze, l'emergere dei processi di imitazione, il contatto oculare, il mantenimento dell'attenzione, dell'impegno e una maggiore capacità espressiva delle emozioni a livello facciale. Lo studio (ST1) di Javed e collaboratori [46], ha registrato, invece, un incremento della reattività alle stimolazioni provenienti dall'esterno e una maggiore capacità gestionale delle stesse da parte dei bambini. Mediante l'elaborazione di un protocollo di intervento all'interno di un ambiente controllato si è provveduto all'installazione di una serie di "stazioni" sensoriali opportunamente progettate per assomigliare a scenari del mondo reale in cui agenti robotici si muovono interagendo con stimoli prodotti dall'ambiente sollecitando al contempo il bambino ad acquisire ed emettere una risposta sociale adeguata. L'impiego dei robot è risultato inoltre utile nell'acquisizione dei comportamenti collaborativi e dell'applicazione degli stessi nel rapporto con un partner umano (ST 35) [75]. Tuttavia un interessante studio (ST13) condotto da Huskens e collaboratori [48] sempre sul miglioramento del comportamento collaborativo (cioè, iniziazioni di interazione, risposte e gioco condiviso) tra i bambini con autismo e i loro fratelli durante le sessioni di gioco mediate dal robot NAO e dall'utilizzo dei Lego® non ha prodotto cambiamenti statisticamente significativi in questa direzione pur lasciando intravedere alcuni indicatori di miglioramento. Dal punto di vista della capacità comunicativa verbale a livello sociale, Dunst e collaboratori hanno condotto una serie di studi in cui hanno dimostrato l'influenza positiva del lavoro mediato da un robot socialmente interattivo sull'incremento dei turni di conversazione tra bambini con autismo e le loro madri (ST 24) [70] e sulle produzioni delle vocalizzazioni (ST26, ST27) [71, 72]

### La Categoria Precursori Teoria della Mente

Sono stati raggruppati in questa categoria gli studi che hanno consentito di rispondere al secondo quesito *"In che modo l'impiego di robot sociali agisce sul potenziamento dei precursori della Teoria della Mente?"*, e che si sono dunque focalizzati su elementi quali: l'imitazione gestuale, il contatto oculare, l'attenzione congiunta, l'interazione bambino-robot.

## Imitazione

L'imitazione è una componente importante nei processi di apprendimento dal momento che consente di acquisire, per osservazione e riproduzione di ciò che è stato osservato, nuove abilità relazionali e sociali e di trasferirle in contesti diversificati. In questa prospettiva è doveroso citare lo studio di So e colleghi (ST11) che ha previsto l'elaborazione di un programma di intervento basato sulla modellazione video (VM) mediante un'animazione robotizzata generata dal computer attraverso cui è stato insegnato ai bambini con autismo a basso funzionamento la comprensione e la produzione gestuale passando per tre fasi fondamentali: il riconoscimento di 20 gesti prodotti dal robot, l'imitazione degli stessi e la riproduzione in contesto sociale appropriato. Gli esiti di questo studio sono importanti perché evidenziano come predisponendo un piano d'intervento con un robot, graduale e ben progettato, sia possibile non solo sollecitare l'abilità imitativa ma anche indurre la trasferibilità e la generalizzazione di ciò che è stato appreso, ad altri contesti sociali adeguati [49]. Anche lo studio pilota (ST14) condotto da Warren e collaboratori, che ha previsto lo sviluppo e l'applicazione di un nuovo sistema robotico capace di interazione dinamica, adattativa e autonoma durante i compiti di imitazione con valutazione e feedback delle prestazioni integrati in tempo reale, ha dimostrato che i bambini con autismo non solo mostrano maggiore attenzione al sistema robotico rispetto al caregiver umano, ma le loro prestazioni di imitazione appaiono superiori durante l'interazione robotica [50].

## Contatto visivo

La capacità di mantenere il contatto oculare con la persona con cui si sta interagendo risulta una componente fondamentale nella strutturazione delle dinamiche relazionali. Come è ben noto i bambini con autismo tendono a sfuggire il contatto oculare e a evitare di mantenere lo stesso quando entrano in relazione con un partner umano. Gli studi volti ad indagare la possibilità di sviluppare la capacità del bambino con autismo di mantenere il contatto oculare su un oggetto statico o in movimento hanno riscontrato che l'impiego di mediatori robotici in sessioni ludiche di intervento riabilitativo, risultano funzionali nel raggiungimento di questo obiettivo. Simut e collaboratori hanno confermato con i loro studi (ST12) che i bambini con autismo riescono a mantenere maggiormente il contatto visivo con un robot sociale rispetto che con un caregiver umano [51]. Altri studi hanno evidenziato un incremento del tempo impiegato a guardare il robot (in posizione statica e dinamica) rispetto a quello dedicato al partner umano (ST 18) [67]. È stata inoltre, rilevata una maggiore capacità di riconoscerne le emozioni mostrate dal robot (ST 7) [73]. In questi studi la rilevazione del contatto oculare è stata registrata attraverso l'impiego di strumentazioni specifiche e adeguate allo scopo.

## Attenzione

La capacità di mantenere l'attenzione sull'interlocutore con cui si sta interagendo è, insieme al contatto oculare, una variabile molto importante per l'attuazione di uno scambio relazionale e sociale adeguato. Molti studi hanno tentato di indagare gli effetti prodotti da un robot nell'incanalare l'attenzione del

bambino con autismo e nel mantenerla in maniera più o meno costante durante l'interazione (sia quando il robot è in posizione statica che in movimento). Lo studio (ST15) di Warren e collaboratori, seppur condotto con un piccolo gruppo di bambini, sembra confermare un miglioramento nella focalizzazione e regolazione dell'attenzione congiunta e un mantenimento della stessa verso le azioni e le proposte del robot umanoide. In particolare è emersa una maggiore capacità dei bambini di orientarsi verso le richieste del sistema robotico [52]. In questa direzione risulta interessante lo studio condotto da Charron e collaboratori (ST8) perché rappresenta una delle poche indagini effettuate in contesto scolastico e non riabilitativo [74] in cui si valuta la variabile "attenzione".

### **Interazione tattile**

Un'altra caratteristica tipica di alcuni bambini con autismo è la difficoltà a sostenere il contatto fisico con l'interlocutore umano. Alcuni bambini ipersensibili rifiutano infatti il tocco, non amano essere sfiorati e questo può rappresentare una difficoltà nella creazione di un legame affettivo con i pari. Studi condotti con l'impiego dei robot sociali dimostrano che i bambini con autismo sembrano interagire a livello tattile in modo del tutto spontaneo con il compagno robotico modificando le proprie azioni, in sequenze di interazioni tattili, in risposta ai comportamenti emessi dal robot (ST 29) [53]. Nello studio di Costa e collaboratori (ST17) ad esempio, i bambini hanno trattato il robot KASPAR come oggetto di attenzione condivisa con lo sperimentatore, hanno eseguito tocchi più delicati sul robot con un'interazione fisica appropriata nel corso di tutte le sessioni e hanno anche imparato a identificare le parti del corpo. Un lavoro interessante in questa prospettiva è indubbiamente quello condotto da Robins e collaboratori (ST19) nell'ambito del progetto Roboskin in cui sono state implementate nuove capacità del robot basate sull'emissione di un feedback tattile fornito da una sorta di "pelle robotica" capace di innescare meccanismi cognitivi utili per il miglioramento dell'interazione uomo-robot [69]. Lo studio ha dimostrato che, a differenza di quanto avviene con la persona umana, un robot con applicazioni tattili può essere usato come "buffer" che media il contatto umano garantendo alla persona con autismo di esplorare il "tocco" in maniera più controllata e quindi tollerabile. Poiché la natura del tocco è soggettiva e dunque variabile da persona a persona, l'applicazione di pelle artificiale nelle zone di contatto più comuni del robot (piedi, guance e braccia) consente a questo di riconoscere diversi tipi di contatto (ad esempio volontario/involontario) emettendo di conseguenza, una risposta che tiene conto delle esigenze e delle differenze individuali [64]. I dati sensoriali vengono raccolti attraverso sensori elettronici, e sono poi processati utilizzando software implementati nel cervello artificiale del robot. Le informazioni vengono gestite attraverso una sorta di "meccanismo cognitivo" che utilizza i dati e i comportamenti sensoriali per assicurare che l'interazione uomo-robot sia efficace e priva di rischi [64].

### **La Categoria Caratteristiche robot**

La possibilità di condurre il bambino con autismo verso lo sviluppo di comportamenti sociali adeguati e per quanto possibili empatici e flessibili dipende in maniera prevalente dalle caratteristiche proprie del robot che si

intende utilizzare. La scelta va ponderata attentamente perché la semplice introduzione di un supporto robotico in contesto riabilitativo e/o educativo non è sufficiente per raggiungere l'obiettivo sperato. Accanto ad una dettagliata progettazione dell'attività (predisposizione di script e adeguati protocolli osservativi) è indispensabile che il robot possenga alcune specifiche caratteristiche. In questa categoria vengono dunque raggruppati i contributi che riflettono sulla correlazione caratteristiche del robot – sviluppo delle abilità sociali (e indirettamente o direttamente della ToM) e che consentono di rispondere al quesito *“Per lavorare sulle abilità sociali è necessario che i robot abbiano determinate caratteristiche?”*

Nello specifico l'analisi della letteratura ha evidenziato una serie di elementi che devono essere considerati nella scelta del supporto robotico di seguito riportati

**Autonomia** – È preferibile utilizzare robot autonomi o robot che possono usufruire del controllo remoto secondo i paradigmi Wizard of Oz (WoZ)? Molti studi condotti hanno evidenziato come sia preferibile utilizzare questa seconda modalità (ST 31) per avere un controllo maggiore della situazione interattiva (innescare azioni del robot in momenti opportuni) e ridurre il margine di errore [54]. Lo studio (ST 4) di Esteban e collaboratori tuttavia evidenzia la necessità di promuovere maggiormente l'autonomia del robot, concordando con gli studi di Thill e collaboratori [55], per rendere l'esperienza più fluida, migliorare l'interazione bambino-robot e alleggerire il carico di controllo e supervisione del terapeuta/educatore/ricercatore. Nell'incrementare l'autonomia del robot è necessario condurre un'attenta analisi delle informazioni sensoriali (stima sguardi, riconoscimento espressioni facciali, rilevamento tracciamento oculare) e tenere in considerazione che a una maggiore autonomia del robot corrisponde un aumento della possibilità di generalizzazione delle abilità apprese, in interazioni umane [56]. Quasi tutti gli studi analizzati hanno comunque adottato la modalità WoZ.

**Morfologia** – È preferibile utilizzare robot con sembianze maggiormente vicine a quelle umane o robot meno identificabili, più meccanici e astratti? Sebbene sia stata proposta una varietà di robot come possibili strumenti terapeutici ed educativi, l'aspetto morfologico dei robot umanoidi attualmente utilizzati è molto vario e non si hanno certezze su come il loro aspetto possa essere vissuto da bambini con autismo. Quello che si sa con certezza è che il robot non deve in nessun modo suscitare ansia e paura e creare una sovra stimolazione sensoriale. Lo studio (ST5) condotto da Hirokazu Kumazaki e collaboratori [57] è interessante in questa prospettiva perché estrapola evidenze che indicano la possibile preferenza dei bambini con autismo per diversi tipi di robot in relazione alla tipologia di interazione che stanno mettendo in atto e in relazione al grado con cui la sintomatologia autistica si presenta. In particolare, viene evidenziato come i bambini con forme più gravi di autismo sembrano preferire robot umanoidi in cui gli aspetti meccanici sono ridotti. Il dato è interessante perché mette in discussione l'idea diffusa secondo cui i bambini sarebbero facilitati nell'interazione con i robot per il loro aspetto semplice e non conforme a quello dell'uomo. In realtà la semplicità che facilita nella relazione i bambini con autismo è riconducibile principalmente ai comportamenti attuati dal robot e ai

dettagli fisici minimali non alle sembianze in sé. Tuttavia in uno studio condotto da Dunst e collaboratori [18] è emerso che i bambini con autismo manifestano un maggiore incremento del grado di accettabilità in presenza di robot giocattoli non umanoidi (ST 23).

### Agentività

Quale grado di agentività deve avere il robot per sollecitare lo sviluppo delle abilità sociali nei bambini con autismo? Il concetto di agentività viene ben evidenziato da Marti [58] che lo definisce come la capacità del robot "di stabilire interazioni reciproche e contingenti con altri agenti e di saperle gestire anche in situazioni di non prossimità fisica immediata. Ne sono esempi il seguire con lo sguardo lo sguardo di un altro, il provare paura in seguito alla manifestazione di paura di un altro in situazioni di non co-presenza" [58]. In questa prospettiva, lo studio (ST6) condotto da Short e collaboratori utilizzando, in un lavoro di interazione bambini con autismo-robot rispettivamente un agente non umanoide (con comportamento simile) a morfologia ridotta, un agente umanoide con comportamenti ridotti (con comportamento casuale), un giocattolo robotico con morfologia e comportamenti ridotti, ha dimostrato che, al di là delle caratteristiche fisiche, per essere funzionale il robot deve poter agire come partner di interazione positiva verso il comportamento sociale. Per alcuni bambini il robot è stato percepito essenzialmente come un oggetto e ha suscitato un comportamento sociale fornendo esperienze sensoriali nuove e accattivanti, mentre per altri bambini, il robot è stato percepito come un agente suscitando in questo caso, comportamenti sociali attraverso elementi riconducibili agli elementi tipici dell'agentività come il movimento autonomo [59]. Inoltre, i robot sociali giocattolo, come si è avuto modo di vedere nei precedenti studi indagati [18], hanno effetti positivi sul comportamento affettivo del bambino soprattutto quando utilizzano un linguaggio chiaro, comprensibile e coinvolgente (ST 25) e possono agire sul miglioramento della loro espressività facciale [60]. Tuttavia, nonostante questi aspetti positivi, gli studi non hanno rilevato il cambiamento di altre capacità di comunicazione sociale (ST 30) [16] oltre a quelle sopracitate.

### Modularità e Configurabilità

Quale grado di personalizzazione deve avere il robot per poter essere efficace nella promozione della socialità del bambino con autismo? Alcuni studi [10,11] hanno posto l'attenzione sulla necessità di poter disporre di robot costituiti in moduli (parte distinte del corpo) programmabili per creare sequenze motorie collegate all'emissione di una risposta emotiva congruente e con intensità variabile (per non creare sovraccarico sensoriale). Altri studi ritengono indispensabile strutturare in associazione al robot, un ambiente di programmazione di facile utilizzo per i professionisti, al fine di creare e condividere scenari di apprendimento comportamentale personalizzati mediati dal robot (ST 33) [68]. In questa prospettiva lo studio (ST9) di Tennyson e collaboratori è interessante perché descrive l'implementazione di un agente robotico di quarta generazione, che utilizza piattaforme economicamente disponibili (Lego NXT) come Socially Assistive Robotics (SAR), combinate con

script sociali. L'utilizzo di tale agente robotico è risultato utile nella diminuzione delle stereotipie tipiche dei bambini con autismo, nell'incremento del loro focus dell'attenzione e del mantenimento del contatto oculare sul robot. Nello specifico, gli studiosi hanno apportato modifiche al design fisico dei robot per migliorarne la manutenibilità, l'affidabilità, la manovrabilità e l'estetica e l'architettura del software è stata progettata in funzione della modularità, della configurabilità e della riusabilità del software medesimo [61]. Lo studio (ST10) condotto da Huijnen, e collaboratori ha cercato di ottenere informazioni su come i robot possano essere implementati negli attuali interventi di educazione e terapia per i bambini con disturbo dello spettro autistico realizzando una panoramica dei requisiti che il robot deve avere in rapporto all'utente finale e all'ambiente (partendo quindi da una mappatura degli obiettivi da raggiungere su base ICF-CY) [47]. Lo studio ha dimostrato che le caratteristiche attuali di molti robot non consentono di raggiungere alcuni di questi imprescindibili obiettivi (es. cura di sé, vita indipendente, abilità pre-scolari, Benessere emotivo e Funzionamento nella realtà quotidiana) [62].

### La Categoria Teoria mente

All'interno di questa categoria vengono inclusi gli studi che consentono di rispondere all'ultimo interrogativo *"Come è possibile lavorare sulla ToM attraverso l'uso della robotica?"*.

Questi studi hanno lavorato in maniera congiunta sia sui precursori della Teoria della Mente associando in alcuni casi, l'uso del robot ad un approccio di tipo narrativo e all'impiego delle storie sociali (ST 20) [64], al riconoscimento di emozione causate da situazioni (ST 21) [65] sia sugli aspetti collegati alla flessibilità cognitiva (ST16) [63] che porta alla disponibilità di vedere avvenimenti da prospettive differenti, a mettere in atto azioni diverse in relazione a contesti diversi. Vanderborght e collaboratori hanno dimostrato (ST 31) che le prestazioni sociali dei bambini con autismo migliorano quando si utilizza il robot PROBO come mezzo per veicolare le storie sociali rispetto a quando l'azione viene svolta da un interlocutore umano. In questo studio sono state analizzate anche le variazioni degli aiuti forniti al bambino da parte dell'interlocutore umano nell'emissione della risposta corretta [54]. Gillesen e collaboratori (ST 32) hanno implementato una piattaforma per creare scenari per lo sviluppo di storie sociali e hanno posto l'accento sulla necessità di prevedere una piattaforma che possa offrire quella flessibilità necessaria per consentire ai professionisti di creare scenari sempre nuovi in rapporto alle esigenze di sviluppo sociale dei bambini [66]. In un interessante lavoro di Scassellati e collaboratori (ST3) vengono indagati complessivamente i miglioramenti che si verificano nei precursori della ToM ponendo l'accento sullo sviluppo dell'attenzione congiunta, sulla comprensione sociale ed emotiva e sulla abilità di assumere una prospettiva differente e sul mantenimento dell'abilità appresa anche in assenza del robot. L'intervento proposto è basato sulla realizzazione di script di interazione attraverso la creazione di storie sociali, giochi virtuali di barriera (Rocket and House). L'interazione è triadica (bambino-robot-caregiver) e l'attività di tipo narrativo in cui il robot incoraggia l'impegno, adatta la difficoltà delle attività alle

prestazioni del bambino e modella le abilità sociali positive [7]. L'utilità della robotica nello sviluppo della ToM viene avvertita anche nello studio (ST16) di Costescu e collaboratori dove il focus è orientato però sulla flessibilità cognitiva, altro elemento ritenuto importante in relazione allo sviluppo della ToM. Attraversi un gioco con il robot KEEPON i bambini sperimentano due condizioni in cui devono invertire il compito di apprendimento (svolgere ruoli differenti) prima nell'interazione con il robot e poi con l'interlocutore umano. Tale studio ha dimostrato che le prestazioni di flessibilità cognitiva dei bambini con autismo sono, in generale, simili nell'interazione con il robot e nelle interazioni umane ad eccezione della fase di apprendimento in cui il robot può influire in maniera decisiva sulle prestazioni (ST16) [63].

## Conclusioni

L'analisi condotta sulla letteratura ha consentito di evidenziare alcuni elementi imprescindibili sui quali è necessario orientare l'attenzione qualora si decida di impostare un'attività mediata dal robot per incrementare la ToM in bambini con autismo.

In particolare, è emerso che la scelta del robot in base alla presenza/assenza di alcune caratteristiche diventa fondamentale. Al di là delle peculiarità fisiche comunque necessarie per indurre il coinvolgimento emotivo e innescare la disponibilità all'interazione, altri elementi dovrebbero essere considerati come l'agentività che implica la capacità del robot di mantenere il "modello sociale" incarnato in quel preciso momento emettendo una risposta adeguata alle sollecitazioni ambientali; l'autonomia che riguarda invece la capacità di produrre una risposta propria senza l'intermediazione dell'uomo e il grado di personalizzazione del software. Sebbene alcuni studi orientino verso l'utilizzo di sistemi totalmente autonomi, è preferibile in un lavoro con bambini con disabilità, optare per la modalità WoZ al fine di garantire un maggiore rispetto degli elementi sopracitati riducendo il rischio dell'errore di risposta (che potrebbe portare ad un blocco del processo interattivo), valorizzando l'immediatezza del feedback di risposta emesso dal robot.

Altro elemento da considerare è riconducibile alle tipologie di attività che si decidono di implementare sul robot. Per lo sviluppo della ToM è consigliabile un approccio di tipo narrativo che associ l'impiego di storie sociali all'utilizzo del robot. In questa prospettiva, il grado di personalizzazione del software del robot diventa fondamentale dal momento che devono poter essere implementate su di esso sessioni di lavoro a complessità crescente nelle quali si parte da un lavoro basico sul riconoscimento delle emozioni per arrivare ad uno più complesso che implica il riconoscimento di stati emotivi generati da cause esterne/interne, fino ad un livello superiore nel quale il bambino deve riuscire a porsi nella prospettiva altrui prevedendo lo stato emotivo o il comportamento sociale che attuerà in relazione ad una determinata situazione (prospettiva). In queste sessioni di lavoro è fondamentale che il robot possa porsi prima come narratore di eventi (storie sociali) rivolgendo al bambino quesiti sulla situazione, poi attore stesso di situazioni sociali svolte con un caregiver umano che prevedono la presenza del bambino nel ruolo di spettatore passivo chiamato a interpretare la situazione stessa, infine, come attore insieme al bambino che deve dimostrare

l'avvenuta comprensione e interiorizzazione di quanto appreso attraverso la messa in atto di adeguate azioni sociali. Alcuni studi si stanno muovendo in questa direzione.

Un altro aspetto da considerare è il ruolo rivestito dal partner umano (terapista, insegnante, genitore...) nelle sessioni di lavoro mediate da un robot. Due domande guidano verso la comprensione di questo ruolo: chi? Come?

In risposta alla prima domanda, gli studi [77] portano a sostenere che l'attività dovrebbe avvenire con figure familiari al bambino con le quali è già stata stabilita una relazione significativa (il proprio insegnante, il proprio terapista, il genitore). Questo perché i bambini con autismo potrebbero provare timore di fronte ad estranei dai quali tendono ad allontanarsi.

Per quanto riguarda il come, è possibile evidenziare azioni importanti attuate dal partner umano prima e durante la sessione con il robot.

Nel "prima" rientrano le fasi di progettazione che includono sia la predisposizione di storie sociali in cui è importante saper selezionare gli obiettivi che si vogliono raggiungere, i contenuti correlati e la struttura che la storia sociale dovrà assumere in base alle caratteristiche del bambino, sia la definizione dettagliata dell'attività che, sulla base della storia sociale dovrà essere messa in atto con il robot (ciò che il robot dovrà dire, i gesti che dovrà fare, i rinforzi che dovrà dare...).

Nel "durante" confluiscono le strategie indirette (sull'ambiente) e dirette (sul bambino) che il partner umano addotta per fare in modo che l'attività abbia inizio e prosegua secondo la prospettiva prefissata. In particolare, le strategie dirette sono finalizzate a sostenere verbalmente o gestualmente il bambino nell'esecuzione dell'attività (premiare gli sforzi, incoraggiare, dare suggerimenti verbali, mostrare come va eseguita un'azione, tenere la mano appoggiata sulla spalla, guidare fisicamente). Non si tratta di fornire risposte che vanno ad anticipare l'azione del bambino ma di fornire una quantità minima di aiuto tale da consentire il proseguimento dell'attività anche in presenza di eventuali blocchi.

Un elemento interessante da segnalare in chiusura del contributo è che la maggior parte degli studi analizzati sono stati svolti principalmente in contesti terapeutici e riabilitativi mentre sarebbe opportuno poter effettuare interventi di questo tipo anche nei contesti educativi, come ad esempio, la scuola per favorire quel processo di trasferibilità e generalizzazione di cui si è fatto cenno in apertura del contributo.

## Bibliografia

- [1] Marti, P., Iacono, I. & Tittarelli, M. (2014). La relazione empatica con i robot. *Ergonomia*, 9: 65-75.
- [2] Sciutti, A., Bisio, A., Nori, F., Metta, G. & Sandini, G. (2014). ICub, un robot bambino per lo studio dello sviluppo e dell'interazione uomo-robot. *Ergonomia*, 9: 11-19.
- [3] Dautenhahn, K., Nehaniv, C. L., Walters, M. L., Robins, B., Kose Bagci, H., Mike Mirza, N. A. & Blow M. (2009). KASPAR - A minimally expressive humanoid

robot for human-robot interaction research. *Applied Bionics and Biomechanics*, 6(3-4): 369-397.

[4] Dautenhahn, K. (2007). Socially intelligent robots: dimension of human-robot interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 362: 679-704.

[5] Ferrari, E., Robins, B. & Dautenhahn, K. (2009). Therapeutic and educational objectives in Robot Assisted Play for children with autism. The *18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Toyama, Japan, Sept. 27-Oct. 2.

[6] Lytridis, C., Vrochidou, E., Chatzistamatis, S. & Kaburlasos., V. (2019). Social Engagement Interaction Games between Children with Autism and Humanoid Robot NAO. In M. Graña et al. (eds) *Proceedings of the 9th International Conference on European Transnational Educational (ICEUTE'18)*, San Sebastian, Spain, 6-8 June 2018: 562-570.

[7] Scassellati, B., Boccanfuso, L., Huang, C. M., Mademtzi, M., Qin, M., Salomons, N., Ventola, P. & Shic, F. (2018). Improving social skills in children with ASD using a long-term, in-home social robot, *Science Robotics*, 3: 1-9.

[8] Costa, S., Lehmann, H., Dautenhahn, K., Robins, B. & Soares, F. (2014). Using a humanoid robot to elicit body awareness and appropriate physical interaction in children with autism. *International Journal of Social Robotics*, 7(2): 265-278.

[9] Boucenna, S., Narzisi, A., Tilmont, E., Muratori, F., Pioggia, G., Cohen, D. & Chetouani, M. (2014). Interactive Technologies for Autistic Children: A Review. *Cognitive Computation*, 6: 1-19.

[10] Pennazio, V. (2015). Disabilità, gioco e robotica: una ricerca nella scuola dell'infanzia. *TD, Tecnologie Didattiche*, 23 (3): 155-163.

[11] Pennazio, V. (2017). Social Robotic to Help Children with Autism in the Interaction Through Imitation. *REM*, 9: 10-16.

[12] Diehl, J. J., Schmitt, L. M., Villano, M. & Crowell, C. R. (2012). The Clinical Use of Robots for Individuals with Autism Spectrum Disorders: A Critical Review. *Research in autism spectrum disorders*, 6(1): 249-262.

[13] Robins, B., Dautenhahn, K., Nehaniv, C. L., Mirza, F. & Olsson L. (2005). Sustaining interaction dynamics and engagement in dyadic childrobot interaction kinesics: Lessons learnt from an exploratory study. In *Proceedings of the 14th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN2005*, Nashville, USA.

[14] Robins, B., Dautenhahn, K. & Dickerson, P. (2009). From isolation to communication: a case study evaluation of robot assisted play for children with autism with a minimally expressive humanoid robot, *Proceedings of 2nd Int. Conf. on Advances in Computer-Human Interaction: ACHI'09*, 2009: 205-211.

[15] Cabibihan, J. J., Javed, H., Ang, M. & Aljunied, S. M. (2013). Why robots? A survey on the roles and benefits of social robots in the therapy of children with autism. *International journal of social robotics*, 5 (4): 593-618.

- [16] Lee, J., Takehashi, H., Nagai, C., Obinata, G., & Stefanov, D. (2012). Which Robot Features can Stimulate Better Responses from Children with Autism in Robot-Assisted Therapy? *Journal of Advanced Robotic Systems*, 9(72): 1-6.
- [17] Dautenhahn, K. & Werry, I. (2004). Towards Interactive Robots in Autism Therapy: Background, Motivation and Challenges. *Pragmatics & Cognition*, 12(1): 1-35.
- [18] Dunst, C. J., Trivette, C. M., Prior, J., Hamby, D. W. & Embler, D. (2013). Parents' Judgments of the Acceptability and Importance of Socially Interactive Robots for Intervening with Young Children with Disabilities. *Social Robots Research Reports*, 1: 1-5.
- [19] De Graaf, M. M. A. & Ben Allouch, S. (2013). Exploring influencing variables for the acceptance of social robots. *Robotics Autonomous System*, 61:1476-1486.
- [20] Duquette, A., Michaud, F. & Mercier, H. (2008). Exploring the Use of a Mobile Robot as an Imitation Agent with Children with Low-Functioning Autism. *Autonomous Robots*, 24 (2): 147-157.
- [21] Cavallo, A., Koul, A., Ansuini, C., Capozzi, F. & Becchio, C. (2016). Decoding intentions from movement kinematics. *Scientific Reports*, 6, 37036. <https://doi.org/10.1038/srep37036>.
- [22] Ansuini, C., Cavallo, A., Bertone, C. & Becchio, C. (2015). Intentions in the Brain: The Unveiling of Mister Hyde. *The Neuroscientist*, 21(2): 126-135.
- [23] Barakova, E. I. & Lourens, T. (2010). Expressing and interpreting emotional movements in social games with robots. *Personal and Ubiquitous Computing* 14: 457-467.
- [24] Tapus, A., Maja, M. & Scassellatti, B., (2007). The Grand Challenges in Socially Assistive Robotics. *Robotics and Automation Magazine*, 14(1): 35-42.
- [25] American Psychiatric Association (APA), (2013). DSM-V Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali. Milano: Raffaello Cortina Editore.
- [26] Etel, E. & Slaughter, V. (2019). Theory of mind and peer cooperation in two play contexts, *Journal of Applied Developmental Psychology*, 60: 87-95.
- [27] Westerland, E. P. & Carruthers, T. K. (2018). Theory of Mind. In Shackelford, V.A. Weekes-Shackelford (eds.), *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science*, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6\\_2376-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6_2376-1).
- [28] Razza, R. A. & Blair, C. (2009). Associations among false-belief understanding, executive function, and social competence: A longitudinal analysis. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 30(3): 332-343.
- [29] Imuta, K., Henry, J. D., Slaughter, V., Selcuk, B. & Ruffman, T. (2016). Theory of mind and prosocial behavior in childhood: A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 52(8): 1192-1205.
- [30] Peterson, C. C., Slaughter, V. P. & Paynter, J. (2007). Social maturity and theory of mind in typically developing children and those on the autism spectrum. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 48(12): 1243-1250.

- [31] Bölte, J. D. & Hallmayer, J., (2011). Autism Spectrum Conditions: FAQs on Autism, Asperger Syndrome, and Atypical Autism Answered by International Experts. Boston: Hogrefe Publishing.
- [32] Baron Cohen, S. (1997). Mindblindness: An Essay on Autism and Theory of Mind. Cambridge: MIT Press.
- [33] Schneider, D., Slaughter, V. & Dux, P. E. (2014). What do we know about implicit false belief tracking? *Psychonomic Bulletin & Review*, <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0644-z>.
- [34] He, Z., Bolz, M. & Baillargeon, R. (2012). 2.5-year-olds succeed at a verbal anticipatory looking false-belief task. *British Journal of Developmental Psychology*, 30(1): 14–29.
- [35] Oswald, T. M. (2012). Relations Among Theory of Mind and Executive Function Abilities in Typically Developing Adolescents and Adolescents with Asperger's Syndrome and High Functioning Autism. Doctorate of Philosophy degree in the Department of Psychology and the Graduate School of the University of Oregon  
[https://scholarsbank.uoregon.edu/xmlui/bitstream/handle/1794/12529/Oswald\\_oregon\\_0171A\\_10511.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://scholarsbank.uoregon.edu/xmlui/bitstream/handle/1794/12529/Oswald_oregon_0171A_10511.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [36] Best, J. R., Miller, P. H. & Jones, L. L. (2009). Executive Functions After Age 5: Changes and Correlates. *Developmental Review*, 29(3): 180-200.
- [37] Hughes, C. & Leekam, S. (2004). What are the links between theory of mind and social relations? Review, reflections, and new directions for studies of typical and atypical development. *Social Development*, 13: 590–618.
- [38] Matthews, N. L. & Goldberg, W. A. (2018) Autism. Theory of mind in children with and without autism spectrum disorder: Associations with the sibling constellation. *Autism, SAGE Journals*, 22 (3): 311–321.
- [39] Shantz, C.U. (1983). Social Cognition. In P.H. Mussen (ed), *Handbook of Child Psychology*, New York: Wiley: 495-555.
- [40] Premack, D. & Woodruff, G. (1978). Does the Chimpanzee Have a "Theory of Mind?". *Behavioral and Brain Sciences*, 4: 515-526.
- [41] Davis, M. (1994). Empathy: A Social Psychological Approach. Boulder: Westview Press.
- [42] Kim, E. S., Berkovits, L. D., Bernier, E. P., Leyzberg, D., Shic, F., Rhea, P. & Scassellati, B. (2013). Social Robots as Embedded Reinforcers of Social Behavior in Children with Autism, *Journal of autism and developmental disorders*, 43 (5):1038-1049.
- [43] Le Storie Sociali sono uno strumento di intervento ideato da Carol Gray (2000) con l'obiettivo di aumentare le abilità sociali dei bambini; non sono altro che brevi narrazioni o meglio "scenari" scritti rispettando alcuni principi, che consentono ai bambini con autismo di capire come comportarsi in maniera adeguata nelle diverse situazioni sociali.
- [44] Barakova, E. I. & Lourens, T. (2010). Expressing and interpreting emotional movements in social games with robots, *Pers Ubiquit Comput*, 14: 457-467.

- [45] Cabibihan, J. J., Javed, H., Marcelo, H. A. & Aljunied, S. M. (2013). Why Robots? A Survey on The Roles and Benefits of Social Robots, *International Journal of Social Robotics*, 5: 593-618.
- [46] Javed, H., Burns, R., Jeon, M., Howard, A. M & Park, C.H. (2019). An Interactive Robotic Framework to Facilitate Sensory Experiences for Children with ASD, *Computer Science Robotics*, 1 (1): 1-18.
- [47] International Classification of Functioning, Disability and Health, ovvero Classificazione internazionale del funzionamento, della disabilità e della salute, elaborata dall'OMS nel 2001 è una delle tre classificazioni di riferimento (con l'ICD-10 e la ICHI), che consente di raccogliere e scambiare in modo unitario e standard le informazioni sulle malattie, sul funzionamento e sugli interventi sanitari. Considera il funzionamento e la disabilità come una complessa interazione tra le condizioni di salute dell'individuo e i fattori ambientali e personali
- [48] Huskens, B., Palmen, A., Van der Werff, M., Lourens, T. & Barakova, E. I. (2015). Improving Collaborative Play between Children with Autism Spectrum Disorders and Their Siblings: The Effectiveness of a Robot-Mediated Intervention Based on Lego® Therapy. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45 (11): 3746-3755.
- [49] So, W. C., Wong, M. K. Y., Cabibihan, J. J., Lam, C. K. Y., Chan, R. Y. Y. & Qian, H. H. (2016). Using robot animation to promote gestural skills in children with autism spectrum disorders. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32 (6): 632-646.
- [50] Warren, Z. E., Zheng, Z., Swanson, A. R., Bekele, E., Zhang, L., Crittendon, J. A., Weitlauf, A. F. & Sarkar, N. (2015). Can Robotic Interaction Improve Joint Attention Skills? *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45 (11): 3726-3734.
- [51] Simut, R. E., Vanderfaeillie, J., Peca, A., Van de Perre, G. & Vanderborght, B. (2016). Children with Autism Spectrum Disorders Make a Fruit Salad with Probo, the Social Robot: An Interaction Study. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 46 (1):113-126.
- [52] Warren, Z., Zheng, Z., Das, S., Young, E. M., Swanson, A., Weitlauf, A., & Sarkar, N. (2015). Brief Report: Development of a Robotic Intervention Platform for Young Children with ASD. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45 (12): 3870-3876.
- [53] Robins, B., Dautenhahn, K., & Dickerson P. (2012). Embodiment and Cognitive Learning-Can a Humanoid Robot Help Children with Autism to Learn about Tactile Social Behaviour? In S.S. Ge et al. (Eds.), *Social Robotics*, Springer, *Proceedings 4th International Conference, ICSR 2012, Chengdu, China, October 29-31*: 66-75.
- [54] Vanderborght B., Simut, R., Pop, J. C., Rusu, A. S., Pintea, S., Lefeber, D. & David, D. O. (2012). Using the social robot Probo as a social storytelling agent for children with ASD. *Interaction Studies* 13(3): 348-372.

- [55] Thill, S., Pop, C. A., Belpaeme, T., Ziemke, T. & Vanderborght, B. (2013). Robot-assisted therapy for autism spectrum disorders with (partially) autonomous control: Challenges and outlook. *Paladyn*, 3(4): 209-217.
- [56] Esteban, P. G., Baxter, P., Belpaeme, T., Billing, E., Cai, H., Cao, H. L., Coeckelbergh, M., Costescu, C., David, D., De Beir, A., Fang, Y., Ju, Z., Kennedy, J., Liu, H., Mazel, A., Pandey, A., Richardson, K., Senft, E., Thill, S., Van de Perre, G., Vanderborght, B., Vernon, D., Yu, H. & Ziemke T. (2017). How to Build a Supervised Autonomous System for Robot-Enhanced Therapy for Children with Autism Spectrum Disorder. *Robot.* 8:18-38.
- [57] Kumazaki H., Warren, Z., Muramatsu, T., Yoshikawa, Y., Matsumoto, Y., Miyao, M., Nakano, M., Mizushima, S., Wakita, Y., Ishiguro, H., Mimura, M., Minabe, Y. & Kikuchi, M. (2017). A pilot study for robot appearance preferences among high-functioning individuals with autism spectrum disorder: Implications for therapeutic use. *PLoS ONE* 12(10).
- [58] Marti, P. (2005). L'interazione Uomo-Robot. *Ergonomia*, 2:50-57 (Cit.p.53).
- [59] Short, E. S., Deng, E. C., Feil Seifer, D. & Matarić, M. J. (2017). Understanding Agency in Interactions Between Children with Autism and Socially Assistive Robots. *Journal of Human-Robot Interaction*, 6 (3): 21-47.
- [60] Dunst, C. J., Hamby, D. W., Trivette, C. M., Prior, J. & Derryberry, G. (2013). Effects of a Socially Interactive Robot on the Conversational Turns between Parents and Their Young Children with Autism. *Social Robots Research Reports*, 6: 1-8.
- [61] Tennyson M., Kuester D. A., Casteel, J. & Nikolopoulos, C. (2016). Accessible Robots for Improving Social Skills of Individuals with Autism. *Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research* 6(4): 21-47.
- [62] Huijnen, C. A. G. J., Lexis, M. A. S., Jansens, R. & De Witte, L. P. (2017). How to Implement Robots in Interventions for Children with Autism? A Co-Creation Study Involving People with Autism, Parents and Professionals. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 47 (10): 3079-3096.
- [63] Costescu, C. A., Vanderborght, B. & David, D. O. (2015). Reversal Learning Task in Children with Autism Spectrum Disorder: A Robot-Based Approach. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 45 (11): 3715-3725.
- [64] Per approfondimenti consultare: <https://www.galileonet.it/roboskin-il-senso-del-tatto-per-robot/>
- [65] Pop, C. A., Simut, R. E., Pintea S. & Vanderborght, B. (2013). Social Robots vs Computer Display: Does the Way Social Stories are Delivered Make a difference for Their Effectiveness on ASD Children? *Journal of Educational Computing Research*, 49(3): 381-401.
- [66] Gillesen, C. C., Barakova, E. I., Huskens, B. E. B. M. & Feijs, L. M. G. (2011). From training to robot behavior: Towards custom scenarios for robotics in training programs for ASD. *International Conference on Rehabilitation Robotics Rehab Week Zurich*, ETH Zurich Science City, Switzerland
- [67] Esubalew, B., Crittendon, J. A., Swanson, A., Sarkar, N. & Warren, Z. E. (2014). Pilot Clinical Application of an Adaptive Robotic System for Young

Children with Autism. *Autism: The International Journal of Research and Practice*, 18 (5): 598-608.

[68] Barakova, E. I. (2011). Robots for social training of autistic children Empowering the therapists in intensive training programs. *World Congress on Information and Communication Technologies*, WICT: 14-19 [http://www.idemployee.id.tue.nl/e.i.Barakova/Papers/WICT\\_BarakovaIEEE.pdf](http://www.idemployee.id.tue.nl/e.i.Barakova/Papers/WICT_BarakovaIEEE.pdf).

[69] Robins, B. & Dautenhahn, K. (2014). Tactile Interactions with a Humanoid Robot: Novel Play Scenario Implementations with Children with Autism. *International Journal of Social Robotics*, 6 (3): 397-415.

[70] Dunst, C. J., Prior, J., Hamby, D. W. & Trivette, C. M. (2013). Influences of a Socially Interactive Robot on the Affective Behavior of Young Children with Disabilities. *Social Robots Research Reports*, 3: 1-10.

[71] Dunst, C. J., Hamby, D. W., Trivette, C. M., Prior, J. & Derryberry, G. (2013). Vocal Production of Young Children with Disabilities during Child-Robot Interactions. *Social Robots Research Reports*, 5: 1-7.

[72] Dunst, C. J., Trivette, C. M., Hamby, D. W., Prior, J. & Derryberry, G. (2013). Effects of Child-Robot Interactions on the Vocalization Production of Young Children with Disabilities. *Social Robots Research Reports*, 4: 1-10.

[73] Yun, S. S., Choi, J.S., Park, S. K., Bong, G. Y. & Yoo, H. J. (2017). Social Skills Training for Children with Autism Spectrum Disorder Using a Robotic Behavioral Intervention System, *Autism Research*, 10: 1306-1323.

[74] Charron, N., Lewis, L. & Craig, M. (2017). A Robotic Therapy Case Study: Developing Joint Attention Skills with a Student on the Autism Spectrum. *Journal of Educational Technology Systems*, 46 (1): 137-148.

[75] Wainer, J., Dautenhahn, K., Robins, B. & Amirabdollahian, F. (2010). Collaborating with Kaspar: Using an Autonomous Humanoid Robot to Foster Cooperative Dyadic Play Among Children with Autism. *10th IEEE-RAS International Conference Human Robots*, Dec. 6-8, Nashville, pp. 631-38. Piscataway, NJ.

[76] Conti, D., Di Nuovo, S., Buono, S., Trubia, G. & Di Nuovo A. (2015). Use of robotics to stimulate imitation in children with Autism Spectrum Disorder: A pilot study in a clinical setting. *Proceedings of the 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Kobe, Japan.

[77] Pennazio V. (2015). Didattica, gioco e ambienti tecnologici inclusivi, Franco Angeli, Milano.

## Biografia

**Valentina Pennazio** è ricercatrice in Didattica e Pedagogia Speciale presso l'Università degli Studi di Macerata, Dipartimento di Scienze della Formazione, dei Beni Culturali e del Turismo. I suoi interessi di ricerca ruotano intorno alle tematiche della didattica inclusiva e tecnologica con un'attenzione particolare all'impiego della robotica per supportare lo sviluppo e l'incremento di abilità carenti in situazioni di disabilità. È autrice di pubblicazioni nazionali e internazionali sull'argomento.

Email: [valentina.pennazio@unimc.it](mailto:valentina.pennazio@unimc.it)

# Apologia della ragione scientifica – IV: dilemmi di scelta ed etica dell'IA

T. Bassetti, A. Luvison

## Sommario

*La scienza e la tecnologia sono due pilastri fondamentali per lo sviluppo di ogni Paese. Dal punto di vista metodologico e operativo, il pensiero critico basato sul ragionamento scientifico fornisce strumenti concettuali adeguati per prendere decisioni in condizioni d'incertezza. Conoscendo e superando i condizionamenti (o bias) cognitivi, la razionalità stessa risulta rafforzata dall'esercizio continuo. L'articolo discute due casi emblematici. Il primo è il paradosso di Newcomb, un esperimento mentale di natura logico-filosofica, riguardante un gioco a due giocatori, uno dei quali è dotato di capacità predittive. La sua soluzione è ricondotta a un semplice calcolo algebrico e probabilistico. Partendo dal problema del carrello, la focalizzazione del secondo caso è sui dilemmi di carattere socio-etico, che le applicazioni dell'intelligenza artificiale (IA) sollevano in modo dirompente, in particolare, per le auto a guida autonoma. Fondamentale è l'assunzione di responsabilità (accountability) da parte dei progettisti di questi sistemi. La tesi di base è che le due culture – l'umanistica e la tecnoscientifica – grazie ai numerosi punti di fertilizzazione reciproca, anziché realtà separate, sono due facce della stessa medaglia: il sapere interdisciplinare. L'interdisciplinarietà è componente fondamentale del bagaglio di conoscenze che ogni leader o studioso deve padroneggiare per affrontare l'impegno morale delle sfide poste in essere dalla società digitale.*

## Abstract

*Science and technology are two major drivers for development in the most advanced countries. Methodologically, critical thinking, motivated reasoning and cognitive reflection provide the conceptual framework and operational toolbox for decision making under*

*uncertainty. The inherent limits (i.e., biases) of human bounded rationality can be overcome, so that scientific rationality is enhanced even more. Two cases are discussed to support this assumption. The first is the Newcomb's paradox, a logical and philosophical thought experiment entailing a game between two players, one of whom claims to be able to predict the future. The solution to this brainteaser is based on elementary algebra involving simple probabilities. By starting from the trolley problem, the focus of the second case is on ethical issues of artificial intelligence (AI), e.g., autonomous systems, such as driverless cars, or other disruptive and pervasive AI applications. Here, the term accountability applies to a designer who considers the question of how intelligent systems should be imbued with ethical values. The underlying argument is that the two cultures – humanities and techno-science – thanks to the many intersection and cross-fertilization points, are both faces of the same coin, i.e., interdisciplinary knowledge. This type of knowledge should belong to the education and training background of any leader, executive, or opinion maker, responsible for facing the incumbent challenges of the digital society.*

**Keywords:** Science and humanities, Critical decision making, Logical conundrums, Newcomb's paradox revisited, Trolley problem, AI and machine ethics

*La preoccupazione per l'uomo e il suo destino deve sempre essere il principale interesse di ogni sforzo tecnico*  
(Albert Einstein)

*Quando soffia il vento del cambiamento, alcuni costruiscono muri, altri costruiscono mulini a vento [per sfruttarne l'energia]*  
(Detto cinese)

## 1. Introduzione

*"[L]e trovate della tecnologia di largo uso hanno risolto molti problemi pratici, ma raramente – e quasi preterintenzionalmente – si sono trasformate in motori d'innalzamento della nostra cultura, o di affinamento delle nostre capacità intellettuali. La tecnologia più comune – quella che oggi gratifichiamo della qualifica d'innovazione digitale – desertifica di giorno in giorno attenzione, reattività, spirito critico, in breve l'intelligenza di miliardi d'utenti, persuadendoli della sostanziale inutilità d'una conoscenza duramente e lentamente conseguita" [1]. Queste affermazioni, blandamente provocatorie, di un brillante linguista accademico sollevano questioni concrete e indicano elementi di riflessione critica. Insanabile e irrimediabile fu, invece, la frattura provocata dai filosofi neoidealisti Benedetto Croce e Giovanni Gentile, che, all'inizio del Novecento, lanciarono con inaudita vis polemica una loro personale crociata contro il matematico ed epistemologo Federigo Enriques e altri primari*

esponenti della cultura scientifica. Questi furono denigrati come “ingegni minuti” (locuzione risalente a Giambattista Vico), buoni solo per mestieri da “banausico”, ossia meramente utilitaristici. Del tutto opposta era la mentalità di un intellettuale tedesco di allora, il teologo e storico Adolf von Harnack, il quale nel 1911 dichiarava: *“La gente si lamenta che la nostra generazione non abbia filosofi. Non è assolutamente vero: solo che i filosofi, oggi, appartengono a un altro settore del sapere, e si chiamano Planck e Einstein”* ([2, pp. 102-103]).

La scienza, non avendo dogmi, progredisce per acquisizioni, avanzamenti, affinamenti successivi, non verso certezze assolute bensì verso certezze ragionevoli, cioè basate sull'esercizio della ragione e sull'esperienza. Più che produrre certezze, la scienza riduce quindi, le incertezze, o fornisce una misura dei livelli di incertezza. Nel suo solito stile schietto e irriverente, Richard Feynman dichiarava: *“Non abbiamo mai ragione con certezza, possiamo solo essere sicuri di avere torto”*. La ragione scientifica non ha di certo la pretesa di essere universale, completa, di poter conoscere tutto; anzi, ha la consapevolezza, in termini di teoremi e risultati, che le nostre conoscenze sono limitate: si pensi, per esempio, ai teoremi di Gödel in logica matematica o al principio di indeterminazione in fisica quantistica. Ma alla fine la scienza, imparando dai suoi eventuali errori, costituisce ancora la miglior forma di conoscenza.

In un breve articolo-saggio [3], John Harris, professore di Bioetica al King's College di Londra, sviluppa un ragionamento ineccepibile nella successione logico-sintattica e nella coerenza argomentativa, dicendo fra l'altro:

*La preparazione per il futuro esige scienza e tecnologia ed esige che le menti siano preparate a porsi domande liberamente, a basarsi sulle evidenze [prove di efficacia (N.d.A.)] e, soprattutto, che le menti siano abituate all'onestà e ad evitare comode “verità alternative”, così come potrebbero presentarsi adottando una concezione un po' – diciamo – allargata di scienza.*

Diventa sempre più necessario esercitare un acuto senso critico guidato dal pensiero razionale, dalla logica, dalla capacità di analisi e di giudizio, alimentati dall'informazione fattuale. Senza dimenticare che la ricerca deve sempre ispirarsi a principi e codici etici estremamente solidi, non disgiunti da una precisa assunzione di responsabilità delle conseguenze (*accountability*), dall'impegno civico-sociale e dall'atteggiamento etico-morale. Non meno rilevante è la coerenza tra il comportamento e il pensiero, che si dovrebbe seguire sulle questioni più sensibili e i temi più cruciali, tuttora aperti e ampiamente dibattuti. Le finalità di uno studioso devono essere sia educative sia culturali, tanto formative quanto informative, perché il suo ruolo non può limitarsi alla ricerca meramente speculativa o all'attività di laboratorio.

Questo articolo ha l'obiettivo di integrare e completare i precedenti sull'“Apologia della ragione scientifica” [4]-[6], mantenendo l'impostazione trasversale e interdisciplinare, nonché il taglio panoramico e l'intento

comunicativo.<sup>1</sup> Leitmotiv del lavoro è che l'esercizio del pensiero critico (*critical thinking*), della razionalità, del ragionamento motivato, della riflessione cognitiva, dell'argomentazione, insieme con gli strumenti di supporto (analisi quantitativa e probabilistica, rigore logico e metodologico, pragmatismo, ecc.), consente di inquadrare, affrontare e risolvere efficacemente i problemi che caratterizzano l'ecosistema digitale, nel presente e nel futuro.

Per dare concretezza alle tesi precedenti proponiamo e discutiamo due casi emblematici: il paradosso di Newcomb di carattere logico-filosofico e il dilemma del trolley come si manifesta nell'intelligenza artificiale (IA) applicata ai veicoli a guida autonoma.<sup>2</sup> I paragrafi 2, 3 e il riquadro 1 illustrano il paradosso di Newcomb, un gioco a due giocatori, uno dei quali vanta doti di predizione. Il problema-rompicapo viene generalizzato nei suoi parametri costituenti e ridefinito in termini di un criterio di scelta ottimale basato sul confronto dei valori attesi delle due scelte possibili, dove l'alternativa è qui riformulata in termini unicamente probabilistici. I paragrafi 4, 5 e il riquadro 2 hanno come tema principale il dilemma del trolley nel contesto dei problemi etici (o morali) sollevati dall'IA e dai sistemi autonomi. Il secondo riquadro riporta una curiosità all'origine del dilemma del trolley durante un episodio della Seconda guerra mondiale, che vede Winston Churchill protagonista. Il quesito di logica del riquadro 3 è un bonus finale per il lettore, nonché un'efficace sintesi delle nostre argomentazioni. Si tratta, infatti, di un enigma di natura logica, la cui soluzione, semplice e ovvia solo dopo che viene svelata, porta a chiedersi: "Com'è che non ci abbiamo pensato prima?".

La bibliografia comprende le indicazioni relative ai lavori – molti dei quali di carattere interdisciplinare – effettivamente utilizzati, o comunque consultati, per la stesura del testo. È perciò rappresentativa della "cassetta degli attrezzi", con i quali abbiamo compiuto l'esplorazione di alcuni temi decisivi per il rapporto (alleanza) tra tecnoscienza, o tecnologia scientizzata, e studi umanistici e società. Questi riferimenti possono essere utili in approfondimenti successivi.

## 2. Il paradosso di Newcomb: il problema

Il concetto di razionalità limitata (*bounded rationality*) – introdotto da Herbert Simon e ripreso in anni recenti da economisti e investitori attenti agli aspetti psicologici e comportamentali [7]-[10] – implica che non possiamo prendere decisioni perfettamente razionali, perché le informazioni di cui disponiamo sono incomplete; spesso manchiamo del tempo necessario per una decisione

<sup>1</sup> Si rimanda a [4]-[6] per approfondimenti sulle motivazioni che hanno ispirato la serie di articoli dedicati all'"Apologia della ragione scientifica" (titolo originariamente proposto dal prof. Franco Filippazzi dell'AICA). A essi si farà frequente riferimento per inquadrare la trattazione in una visione complessivamente unitaria nelle tesi e nelle argomentazioni.

<sup>2</sup> Poiché l'IA è una disciplina in rapida evoluzione, non sembra esistere oggi una definizione dell'IA universalmente accettata e comprensiva delle sue numerose sfaccettature teoriche e pratiche. A titolo di esempio, dall'Enciclopedia Treccani online riportiamo: "Si chiama intelligenza artificiale (IA) quel settore dell'informatica che studia la possibilità di costruire computer che siano in grado di riprodurre il funzionamento di alcune capacità della mente umana o, nel caso della cosiddetta intelligenza artificiale forte, dell'intero pensiero umano. Questa locuzione è anche utilizzata per indicare quella branca della filosofia che si pone il problema se sia davvero possibile riprodurre il pensiero umano". (A firma di Andrea Carobene, <http://www.treccani.it/enciclopedia/intelligenza-artificiale>).

ponderata e, considerazione ancora più importante, le nostre capacità cognitive sono limitate. Gregory Bateson annotava: *“Fra tutte le invenzioni umane, quella dell'uomo economico è di gran lunga la più noiosa”*.

Nelle scuole di psicologia cognitiva è in uso il termine inglese *dysrationalia* (“disrazionalità”) per indicare l'incapacità di una persona, nonostante il suo alto quoziente intellettivo (QI), di pensare e comportarsi razionalmente, o almeno ragionevolmente. È evidente che molti, pur dotati di un'intelligenza elevata secondo il parametro QI, non sono allenati al ragionamento critico. Il QI non è quindi un buon criterio di valutazione del pensiero razionale, al più ne è un blando indicatore [11].<sup>3</sup>

Eppure, razionalità limitata non significa affatto irrazionalismo, o che non conosciamo alcunché: sarebbe bene che molti critici o pseudoesperti *“si facessero una ragione di ciò”*. L'economia comportamentale nasce, in definitiva, come intersezione tra la psicologia cognitiva e comportamentale, da un lato, e le decisioni economico-finanziarie, dall'altro. Riferito ai mercati finanziari, ma di portata ben più ampia, è l'icastico commento: *“[L]’unico antidoto agli errori indotti dalle emozioni è la razionalità, specialmente se applicate sul lungo periodo, con pazienza e perseveranza”* [10, p. 222].

Con l'ausilio di esempi provenienti da settori fra i più vari, i limiti cognitivi sono stati ampiamente discussi in [4]-[6], dimostrando però che, con l'esercizio, la razionalità, anziché bandita, risulta addirittura ampliata e rafforzata. (Cfr. anche il riquadro 3 per un quesito logico, la cui soluzione, pur ovvia *a posteriori*, non è in generale percepita subito; anzi, *a priori* sembra controintuitiva).

In [6], abbiamo delineato il quadro generale della teoria dei giochi, ricorrendo a numerosi esempi. Nei prossimi due paragrafi illustriamo, analizzandolo e discutendone la soluzione, il paradosso di Newcomb, un rompicapo logico-probabilistico che contende la palma del più controverso a un altro gioco di probabilità, il problema delle tre porte o di Monty Hall [12].<sup>4</sup> Il riquadro 1 esamina parametricamente il problema in forma generale.

Il paradosso di Newcomb è stato ideato dal fisico William Newcomb (1960), studiato dal filosofo Robert Nozick [14] e diffuso da Martin Gardner [15], [16] nella sua popolare rubrica di matematica ricreativa su *Scientific American* e, in italiano, su *Le Scienze*.<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Il riferimento [11] fornisce una rassegna completa e aggiornata degli studi di Keith E. Stanovich (Università di Toronto) e del suo gruppo di ricerca sulla distinzione tra razionalità e intelligenza, cioè sul concetto di *dysrationalia*, e su come le nostre vite ne siano influenzate.

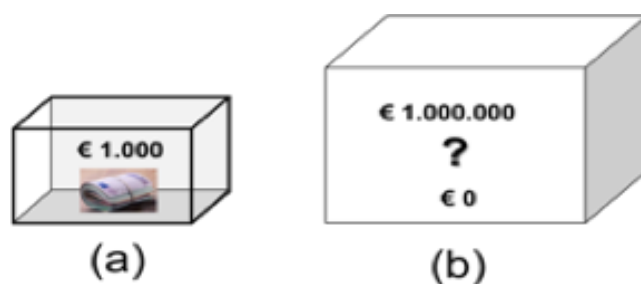
<sup>4</sup> Riguardo al gioco di Monty Hall, è interessante ricordare che la maggior parte delle persone, anche matematici di professione, arriva a convincersi della soluzione corretta molto lentamente, se mai ci arriva [4]. Invece, uno studio del 2010 ha dimostrato sperimentalmente che i piccioni apprendono la strategia che porta alla soluzione ottimale in un tempo decisamente minore del nostro [13]. Considerate le dimensioni del cervello di questi volatili, il fatto è davvero curioso.

<sup>5</sup> L'articolo [16] contiene le precisazioni di Nozick alla valanga di commenti ricevuti dalla rubrica di giochi tenuta da Gardner dopo la pubblicazione di [15]. Gardner ripropone e aggiorna con un addendum l'intera questione nel capitolo 44 della raccolta [17], un volume molto pregevole, anche dal punto di vista editoriale.

Adotteremo sia nel testo sia nelle illustrazioni un registro volutamente colloquiale, didascalico, ridondante, ancorché lessicalmente preciso, per facilitare la comprensione del problema e delle sue implicazioni. Le sottigliezze del ragionamento sono soprattutto logiche, non di tipo computazionale; i calcoli (probabilistici) sono, infatti, di algebra elementare e alla portata di tutti.

Partiremo da:

**Il problema in forma semplificata.** In bella mostra su un tavolo ci sono due scatole: una piccola trasparente (da qui in poi “la scatola”), della quale si può vedere il contenuto, e una grande opaca (“lo scatolone”), il cui interno è invisibile (cfr. figura 1).



**Figura 1**

**Paradosso di Newcomb:** (a) la scatola trasparente di sinistra contiene con certezza € 1.000; (b) lo scatolone opaco di destra contiene € 1.000.000 oppure è vuoto

Un oracolo o indovino chiaroveggente – che potremmo anche identificare, in omaggio allo sviluppo dell'IA, con un algoritmo di *machine learning* o con un *brain scanning computer* – ti propone uno strano gioco con premi in denaro.<sup>6</sup> (Come valuta di riferimento, anziché il dollaro, utilizzeremo l'euro). L'algoritmo mette: 1) € 1.000 nella scatola e € 0 nello scatolone, oppure 2) € 1.000 nella scatola e € 1.000.000 nello scatolone. A questo punto, se tu potessi scegliere tra: A) prendere il denaro solo dallo scatolone oppure B) prendere il denaro da entrambe le scatole, non avresti certamente dubbi. Infatti, scegliere entrambe le scatole (opzione B) è la scelta economicamente più vantaggiosa, dal momento che garantirebbe una vincita almeno uguale a quella dell'azione A (€ 1.000 sicuri) e potenzialmente maggiore (€ 1.001.000).

**Il paradosso di Newcomb in forma originale.** La questione si complica – e non di poco! – perché aggiungiamo la condizione che l'algoritmo faccia una predizione prima che tu scelga: se pensa che sceglierai l'opzione A (solo lo scatolone), mette in esso € 1.000.000; se pensa che sceglierai B (entrambe le scatole), depone € 0 nello scatolone, cioè niente. Analogamente, lo scatolone risulterà vuoto (€ 0) se l'oracolo si aspetta che tu lanci una moneta per rendere aleatoria la scelta. Nella scatola ci sono, qualunque sia la tua azione, € 1.000.

<sup>6</sup> Cicerone sosteneva che “Un aruspice non può incontrare un altro aruspice senza ridere”, ma non poteva immaginare che sarebbe sopraggiunta l'era dei big data e del machine learning. Per la verità, parecchi studiosi – però non tutti – mettono in dubbio le capacità predittive dei computer, per quanto potenti essi siano (cfr., per es., [18]).

Punto-chiave è che l'oracolo fa la sua predizione prima della tua scelta. Si suppone inoltre che l'algoritmo, essendo dotato di rimarchevole intelligenza cognitiva, sia quasi sempre corretto nelle sue previsioni, anche se le sue capacità predittive, o divinatorie, non sono assolute. In altri termini, "ci azzecca" il più delle volte, benché non sempre: si ricordi anche la nota 6.

L'ultima colonna della tabella 1 riassume le quattro possibili vincite in relazioni alle due previsioni dell'oracolo e alle tue due possibilità di scelta.

| PREVISIONE DELL'ORACOLO | TUA SCELTA          | SCATOLONE   | SCATOLA | VINCITA TOTALE |
|-------------------------|---------------------|-------------|---------|----------------|
| Solo scatolone          | Solo scatolone      | € 1.000.000 | € 0     | € 1.000.000    |
| Solo scatolone          | Scatola e scatolone | € 1.000.000 | € 1.000 | € 1.001.000    |
| Scatola e scatolone     | Solo scatolone      | € 0         | € 0     | € 0            |
| Scatola e scatolone     | Scatola e scatolone | € 0         | € 1.000 | € 1.000        |

**Tabella 1**

*Tabella delle vincite nel paradosso di Newcomb. (Nota: nella terza e quarta colonna, per i casi in cui la scatola o lo scatolone non vengono scelti le corrispondenti vincite sono ovviamente € 0)*

La tabella 2 fornisce le stesse informazioni della tabella 1, però sotto forma di matrice delle vincite. Anche qui, i quattro casi possibili risultano dalla combinazione delle due predizioni dell'oracolo e dalle tue due opzioni di scelta.

| LA TUA SCELTA                        | L'ORACOLO PREDICE A | L'ORACOLO PREDICE B |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>A) PRENDI SOLO LO SCATOLONE</b>   | Vinci € 1.000.000   | Vinci € 0           |
| <b>B) PRENDI ENTRAMBE LE SCATOLE</b> | Vinci € 1.001.000   | Vinci € 1.000       |

**Tabella 2**

*Matrice delle vincite nel paradosso di Newcomb*

**La domanda-chiave.** Scegli l'opzione A (solo lo scatolone) o scegli l'opzione B (entrambe le scatole)?

Per (tentare di) sciogliere il dilemma in questo problema, indubbiamente fra i più complessi nel suo genere, si possono presentare due argomentazioni diverse le quali – benché entrambe logiche, solide e convincenti – portano a scelte opposte.

**Argomentazione a supporto della scelta A (solo lo scatolone).** Se scegli A, l'oracolo molto probabilmente lo ha previsto e ottieni € 1.000.000; se scegli B, l'oracolo quasi certamente lo ha previsto, hai perciò € 0 dallo scatolone e € 1.000 dalla scatola: in totale € 1.000. Pertanto la scelta più ovvia è A.

**Argomentazione a supporto della scelta B (entrambe le scatole).** Come sottolineato, l'oracolo ha già preso la sua decisione, qualunque essa sia e, quindi, il denaro – per l'ammontare conseguente alla decisione – è già nelle scatole. Se lo scatolone contiene € 0, ti conviene scegliere *B* (entrambe le scatole) perché ottieni € 1.000 invece di € 0. Se lo scatolone contiene € 1.000.000, oltre a questo ammontare, ottieni anche € 1.000 dalla scatola se scegli *B*. In entrambi i casi, per il principio di dominanza in teoria dei giochi, *B* risulta l'azione più saggia.

Un commento di Nozick sul quesito fu: “Quasi tutti pensano che il da farsi sia perfettamente chiaro e ovvio. La difficoltà è che gli esseri umani sembrano dividersi quasi esattamente a metà riguardo alla soluzione, e in buona parte pensano che quelli dell'altra metà siano sciocchi” [13, p. 117].

A riprova del fatto che il paradosso polarizza le risposte degli interpellati praticamente a metà, citiamo i dati di un sondaggio condotto nel novembre 2016 sul sito online del *Guardian* dal matematico e divulgatore Alex Bellos. Su quasi 32.000 risposte, i risultati sono stati il 53,5% a favore di *A* (scelta dello scatolone) e il 46,5% a favore di *B* (entrambe le scatole).<sup>7</sup> Bellos ha spiritosamente commentato che l'esito ricorda il referendum sulla Brexit, per il quale vi è stata una divisione anche all'interno di molte famiglie. Discutere e argomentare sul voto migliore (almeno non peggiore) non fa altro che radicalizzare le posizioni di ogni partecipante. Come, in genere, succede nelle reti e piattaforme sociali [19].

Per molti dei numerosi filosofi che se ne sono occupati, questo esperimento mentale riguarda questioni metafisiche e psicologiche, quali determinismo, fatalismo, predestinazione, libero arbitrio. Purtroppo, con ragionamenti di questo tipo si resta intrappolati in un labirinto di sconcertante ambiguità sul tempo e sulla causalità, il che rende il gioco dilemmatico e la scelta tra le opzioni *A* e *B* oltremodo difficile. Tant'è che qualche filosofo della scienza ha sostenuto che il paradosso mette in crisi la possibilità di effettuare una scelta completamente libera e razionale. Ma è veramente così? Fortunatamente, ci sono anche le discipline “dure”, e una di queste – il calcolo delle probabilità – consente di porre due domande precise: è possibile riformulare il problema in modo più chiaro? E se è così, esiste una soluzione non ambigua?

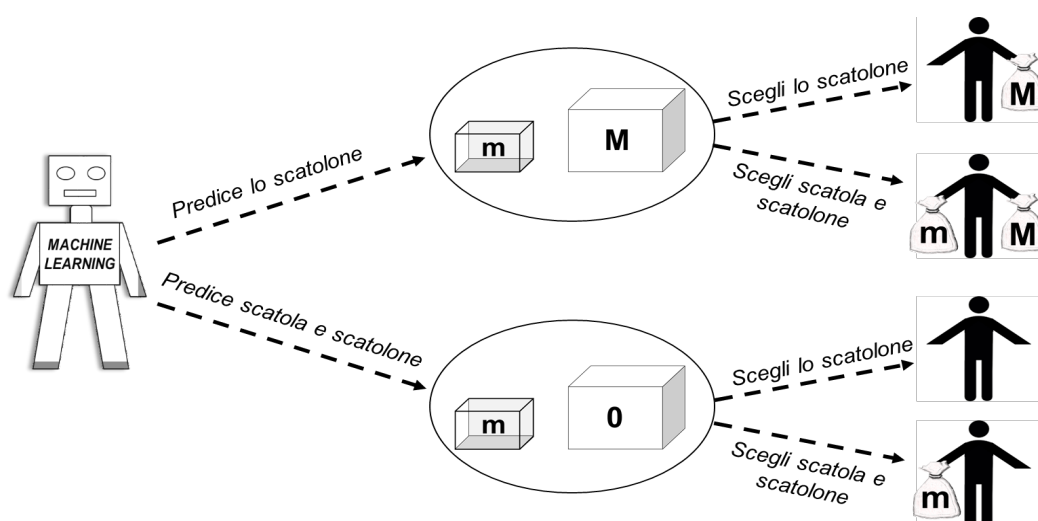
### 3 Il paradosso di Newcomb: la scelta probabilistica ottimale

In questo paragrafo, vedremo come e perché le risposte siano positive per entrambi i quesiti precedenti, facendo riferimento a una versione generalizzata, cioè parametrica, del paradosso.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Cfr. <https://www.theguardian.com/science/alexs-adventures-in-numberland/2016/nov/28/newcombs-problem-divides-philosophers-which-side-are-you-on>. In un'altra indagine di massa (<http://www.philosophyexperiments.com/newcomb/Default.aspx>), i risultati sono stati molto simili: il 55% è per la scelta del solo scatolone e il 45% a favore di tutte e due le scatole.

<sup>8</sup> L'impostazione che segue si ispira liberamente alla presentazione [20] di Norton J. Wildberger, matematico della University of New South Wales, Sidney.

**Generalizzazione del paradosso.** Il problema può essere reso più comprensibile definendo in modo generale ed esplicito le quantità in gioco:  $m$  = ammontare della scatola (€ 1.000 nella formulazione originale di Newcomb) e  $M$  = massimo ammontare dello scatolone (€ 1.000.000 nell'originale). Vedremo come il rapporto  $K = M/m$  ( $= 1.000$  nell'originale), o il suo reciproco  $k = 1/K = m/M$ , giochi un ruolo-chiave nella soluzione proposta. Con queste notazioni, il contenuto potenziale dello scatolone diventa  $M = mK$ . La generalizzazione del gioco è rappresentata in forma estesa nella figura 2.



**Figura 2**

*Rappresentazione in forma estesa del paradosso di Newcomb generalizzato. (Figura adattata da [http://lesswrong.com/lw/gu1/decision\\_theory\\_faq/#what-about-newcombs-problem-and-alternative-decision-algorithms](http://lesswrong.com/lw/gu1/decision_theory_faq/#what-about-newcombs-problem-and-alternative-decision-algorithms))*

Sono poi da considerare le due probabilità che rappresentano le capacità predittive dell'algoritmo:  $P(A)$  e  $P(B)$ .  $P(A)$  è, per definizione, la probabilità che l'algoritmo preveda correttamente la scelta quando essa è  $A$  (solo lo scatolone); mentre  $P(B)$  è, per definizione, la probabilità che l'algoritmo preveda correttamente la scelta se essa è  $B$  (entrambe le scatole). In generale, può essere  $P(A) \neq P(B)$ . È realistico sostenere che l'algoritmo – avendo sviluppato, forse grazie alla miriade di dati a sua disposizione, una metrica del tuo profilo e delle tue preferenze – sia in grado di stimare tanto  $P(A)$  quanto  $P(B)$  nella fascia di valori compresi tra il 50 e il 100%, certamente non inferiori al 50%.

**Criterio di scelta: massimizzazione del valore atteso.** Nei problemi di scelta in condizioni aleatorie, in particolare nei giochi d'azzardo, un criterio conveniente per decidere fra le opzioni possibili è la massimizzazione del valore

atteso (chiamato anche media ponderata o speranza matematica) fra gli eventi considerati:<sup>9</sup>

**Il valore atteso  $E(X)$  di un evento  $X$  aleatorio è il suo valor medio ponderato, cioè la somma di ogni possibile valore di  $X$  moltiplicato per la probabilità ad esso associata.**

Nel nostro caso – scelta, o decisione, tra  $A$  oppure  $B$  – il valore atteso dell'evento  $A$  o  $B$  si ottiene moltiplicando ciascuno dei due premi possibili per la corrispondente probabilità di vincita. Pertanto, i valori attesi  $E(A)$  e  $E(B)$  delle azioni alternative  $A$  e  $B$  risultano:

$$E(A) = (mK)P(A) + (0)[1 - P(A)] = mKP(A)$$

$$E(B) = mP(B) + (m + mK)[1 - P(B)] = m(K + 1) - P(B)(mK)$$

(Ricordiamo che in entrambe le relazioni  $mK = M$ ). Come criterio di scelta, poniamo la condizione  $E(A) \geq E(B)$ , cioè che l'azione  $A$  (scelta del solo scatolone) sia conveniente almeno tanto quanto la  $B$  (scelta di entrambe le scatole). Con pochi facili passaggi algebrici, si ottengono le relazioni-chiave del processo decisionale:

$$P(A) + P(B) \geq 1 + 1/K$$

e l'equivalente:

$$P(A) + P(B) \geq 1 + k$$

Ognuna delle due formule, dove le probabilità  $P(A)$  e  $P(B)$  e il rapporto  $K = M/m$  (o  $k = m/M$ ) compendiano tutti i casi possibili, fornisce la soluzione ottimale al paradosso di Newcomb. (Si noti che le entità dei premi  $M$  e  $m$  non intervengono singolarmente ma solo attraverso i loro rapporti  $K$  o  $k$ ). La scelta tra  $A$  e  $B$  è indifferente – dal punto di vista del criterio probabilistico adottato – se vale il segno di uguaglianza.

La versione originale del paradosso considera  $m = € 1.000$  e  $M = € 1.000.000$ , cioè  $K = 1.000$ ; supponendo altresì  $P(A) = P(B) = 0,9$ , abbiamo  $E(A) = € 900.000$  e  $E(B) = € 101.000$ , per cui  $E(A) > E(B)$ : infatti,  $P(A) + P(B) = 1,8$  è ben maggiore di  $1 + 1/K = 1 + k = 1,001$ . Pertanto:

**Il criterio di scelta basato sul valore atteso più conveniente fa preferire lo scatolone da solo (opzione A) rispetto a entrambe le scatole (opzione B).**

Per una discussione di altri casi significativi, al variare dei parametri in gioco, si rinvia al riquadro 1 e alla relativa figura 4. Si confermerà che per molti casi la scelta dell'opzione  $B$ , implicitamente basata su un ragionamento del tipo “se

<sup>9</sup> La massimizzazione del valore atteso è il criterio più semplice e immediato per scegliere fra le opzioni di un gioco con vincite aleatorie. Metodi più complessi per rappresentare numericamente l'attitudine (propensione o avversione) al rischio di un decisore sono basati sull'utilità attesa (von Neumann e Morgenstern) o sulla prospect theory (Kahneman e Tversky).

*proprio mi va male intasco € 1.000*", non corrisponde al valore atteso migliore né alla strategia più efficace. Esito che a questo punto della discussione dovrebbe risultare chiaro: si noti che  $E(A)$  è direttamente proporzionale a  $P(A)$ , mentre  $E(B)$  decresce linearmente con il crescere di  $P(B)$ . Infatti, il risultato prima evidenziato discende unicamente dalle due relazioni tra valori attesi e probabilità.

**Conclusione.** Grazie alla precedente impostazione, puramente matematica, tanto il paradosso quanto la sua soluzione risultano ben definiti, e ogni considerazione filosofica, soprattutto metafisica, è riconducibile ai valori di probabilità  $P(A)$  e  $P(B)$ . Peraltro, non è difficile prevedere che molti – dilettanti appassionati o esperti – continueranno a sollevare obiezioni, se non a cercare correlazioni addirittura con il gatto di Schrödinger e l'*entanglement* (fenomeno della non-località) in fisica quantistica. Infatti, Gardner, dopo la pubblicazione su *Scientific American*, fu invaso da lettere bislacche di commento sulla soluzione, oltre che da proposte, più o meno bizzarre, di varianti al problema originale. Il fenomeno è diventato così vasto che è stato nominato "newcombmania".

Il lettore attento avrà anche notato l'analogia tra questo dilemma e quello del prigioniero [6]. In effetti, in letteratura si è sviluppato un ampio dibattito, più che altro filosofico, sulla questione:

*Al di là delle considerazioni sul piano della struttura, resta il fatto che, a differenza di quanto avvenuto con il dilemma del prigioniero, il problema di Newcomb non ha ricevuto grande interesse in campo applicativo, forse perché la fonte di attrazione verso il problema è di natura più spiccatamente teorico-speculativa che non pratica. Questo spiega anche la circostanza per cui, mentre il dilemma del prigioniero è stato oggetto di studio da parte di numerose discipline, la trattazione del problema di Newcomb è rimasta quasi confinata all'interno del dibattito filosofico [21].*

Tuttavia, il rompicapo illustrato rientra a pieno diritto nella teoria della decisione comportamentale (*behavioral decision theory*) perché compendia efficacemente una questione di base: come prendiamo le decisioni, specialmente quando guadagni, perdite, probabilità riguardano contesti e orizzonti temporali diversi in un quadro non ben definito. È perciò strano che il problema non sia considerato fra i temi d'interesse di questa recente branca dell'economia.

#### 4. Motivazioni e limiti dell'IA attuale

*Non siamo macchine pensanti che si emozionano, ma macchine emotive che pensano*  
(Antonio Damasio)

*[Danny Kahneman e io] più che di intelligenza artificiale, ci occupiamo di stupidità naturale* (Amos Tversky, [8, p. 309])

Ancora con l'obiettivo di affrontare aspetti cruciali di tecnoscienza usando, come strumenti decisionali, logica, ragione e pensiero critico, esamineremo in questo paragrafo e nel successivo il secondo caso di studio, quello dell'IA. Infatti, i problemi economici, etico-sociali, addirittura di politica fiscale, legati all'IA e alla robotica (umanoide e no) sono al centro dell'attenzione pubblica e oggetto di sempre più ampi e serrati dibattiti, praticamente su ogni mezzo mediatico o canale informativo. Per esempio, far sposare le imprese più avvedute con le nuove tecnologie è l'intrigante sfida dell'incombente Industria/Impresa 4.0, dove IA e robotica insieme possono agire da catalizzatori. Bisogna accettare che il futuro, per incrementare la produttività e assicurare il successo nei settori tecnico-economici, non è esclusivamente umano né esclusivamente artificiale: si trova in tutti e due. La parola-chiave è "arricchimento" o "potenziamento" (*augmentation*) che sfrutta a favore di entrambi la sinergia fra macchine e umani per un lavoro migliore, più intelligente e più veloce [22], [23].<sup>10</sup> Sono però urgenti grandi interventi di *re-skilling* e riqualificazione delle risorse umane, perché l'AI, in tutte le sue manifestazioni, è oggi un fenomeno sempre più dirompente e dilagante.

Non dimentichiamo che siamo complementari e simbiotici con gli utensili da millenni e con le macchine da secoli, in modo socialmente ed eticamente sostenibile: la padronanza di nuove tecnologie è andata di pari passo con l'evoluzione della nostra specie; inoltre, capacità cognitiva e arte tecnologica si sono arricchite e rafforzate a vicenda.

Dal momento che, negli scenari della complessità, le tecnologie, ogni giorno, ridisegnano e aprono nuovi orizzonti non predeterminati, siano essi di rischio o di opportunità, è bene ricordare l'aurea massima, di sapore quasi Zen, dello storico Melvin Kranzberg: "*La tecnologia non è né buona né cattiva; non è neanche neutrale*". Per cui, anche se gli esperti nelle professioni più nobili non saranno rimpiazzati dall'IA, è prevedibile che gli operatori specializzati che la usano sostituiranno quelli non lo fanno.

Se l'ausilio vicariante della tecnologia, soprattutto nei due secoli passati, era prevalentemente diretto alle attività fisiche e muscolari, oggi si sta progressivamente spostando verso la sostituzione delle cerebrali e mentali [25]. Certo è che ne sono stati fatti progressi da quando si diceva: "[...] *un computer è una macchina stupida con la capacità di fare cose incredibilmente intelligenti, mentre i programmatori sono persone intelligenti con la capacità di fare cose incredibilmente stupide. In breve, insieme creano un'accoppiata di pericolosa perfezione*" [26, p. 316]. In ogni caso, se l'IA e i suoi prodotti ci sostituiranno nei lavori che richiedono attività muscolari (i robot), evitiamo che sostituiscano del tutto il nostro cervello, semmai lo potenzino con l'*augmentation* prima citata. E facciamo in modo che la frase "*la tecnica è il prodotto di una scienza senza umanità, che dà soltanto meccanismi e strumenti*" resti una boutade da filosofi inguaribilmente antimodernisti e misoneisti.

L'essenza del rapporto uomo-macchina è distillata dal paradosso di Hans Moravec: "*la macchina trova difficile svolgere i lavori di routine dell'uomo, l'uomo*

<sup>10</sup> Per discussioni critiche sugli effetti dell'IA in generale, rinviamo, per esempio, a [19], [24] e alle bibliografie annesse.

*trova ardui i compiti tipici della macchina*". Infatti, la nostra specie, per ragioni biologiche e genetiche, ha facilità di movimento, di percezione, di inferenza euristica; al contrario, una macchina è costitutivamente portata a svolgere compiti di elaborazione algoritmica e deduzione logica nella risoluzione di problemi computazionali di larga scala. I sistemi artificiali non sono oggi in grado di affrontare da soli situazioni impreviste, tutte diverse, ma frequenti nel loro insieme: sono "casi di coda lunga e governati da una legge di potenza o di Pareto" [27].<sup>11</sup> Si tratta di episodi in cui i sistemi non sono (ancora) dotati di una base di conoscenza sufficientemente ampia per permettere loro di decidere come agire; tantomeno, hanno la capacità – cioè, il buon senso – di capire che cosa possa essere dannoso per l'uomo [28]. Quando si verificano questi casi, singolarmente rari, ma in totale molto numerosi, la macchina lavora fuori della propria zona di comfort; quindi, non può essere lasciata a operare in assoluta autonomia senza la responsabilità della supervisione umana. (Si veda anche la distinzione tra Sistema 1 e Sistema 2 – o pensieri veloci vs. pensieri lenti – nel modello di Daniel Kahneman [7]). Qui, al momento, sta il limite a una IA dotata di autocoscienza, cioè in grado di sostituire l'uomo in qualsiasi attività manuale, intellettuale ed emozionale. Oggi l'intelligenza artificiale emula sostanzialmente solo il comportamento razionale dell'uomo – o il Sistema 2, cioè la parte riflessiva dei nostri processi di elaborazione dell'informazione.

A proposito di sentimenti di macchine artificiali, è noto che la fantasia spesso anticipa e supera la realtà: già Hal 9000, il paranoico e malvolente supercomputer di *2001: Odissea nello spazio* (1968), era in grado di provare empatia cognitiva, sia pure imbibita di tutta l'umana maliziosa perfidia – per la quale non sarebbe azzardato proporre il neologismo "disempatia".<sup>12</sup> La fantasia realizzava dunque, cinquant'anni fa, ciò che oggi stanno cercando di fare algoritmi avanzati di IA: la lettura delle labbra, oltre che la comprensione del linguaggio e la capacità di ragionamento degli umani. C'è poi la situazione, nient'affatto irrealistica per l'Internet delle cose, in cui l'uomo perde il controllo di

<sup>11</sup> *Lavori fondamentali di Vilfredo Pareto mostrano che un'ampia categoria di distribuzioni statistiche segue una "legge di potenza", non una gaussiana. Una distribuzione con legge di potenza rappresenta casi in cui, insieme a molti eventi piccoli, coesistono pochi eventi straordinariamente grandi. La loro forma è caratterizzata da code molto più marcate (e lunghe) di quelle legate ai modelli gaussiani o esponenziali. Inoltre, spiega, matematicamente, eventi rari ma significativi – come, i super-ricchi, i terremoti di grande magnitudo, le guerre mondiali o i colossi tecnologici (Amazon, Apple, Facebook, Google, ecc.). In un fenomeno governato da un andamento di questo tipo, esistendo sempre un piccolo numero di dati estremamente lontani dalla media, ci si deve attendere che capitino casi anomali, gli ormai noti "cigni neri" di Nassim Nicholas Taleb. All'opposto, per ogni "Paperone" ci sono milioni di poveri, oppure per ogni terremoto catastrofico ci sono miriadi di movimenti tellurici di poco conto.*

<sup>12</sup> *Nei dibattiti mediatici, risuona un po' stucchevole l'abuso del termine politicamente corretto di empatia – soprattutto, quella emozionale che, portando a commuoversi, è ben diversa dalla cognitiva – perché il mettersi nei panni dell'interlocutore, sempre e indistintamente, non permette di analizzare i problemi con il dovuto distacco per trovarne le soluzioni più logiche. Infatti, solo con la sospensione del giudizio, con l'analisi ragionata (il critical thinking), con ampiezza di vedute, ma tenendo a freno emotività e passioni è possibile discernere il vero dalle mistificazioni: si veda il caso della post-verità, trattato ampiamente in [19]. L'abuso di empatia (emozionale), portando a giustificare e non solo a comprendere, rischia di uniformare il pensiero verso il basso, ed è noto che senza entropia non c'è informazione. La scelta di rispettare tutti i punti di vista, di sforzarsi di vedere le buone ragioni dell'altro e di rifuggire la contrapposizione, non sempre e comunque, può essere conveniente. Al contrario, sviluppando con l'esercizio del pensiero razionale un acuto spirito critico, si evita di confondere i bravi (più capaci) con i buoni (più politicamente corretti), le soluzioni più opportune con le inadatte, le decisioni migliori con le abborracciate.*

macchine che comunicano tra loro con un linguaggio sviluppato autonomamente.

I progressi indotti dall'IA daranno vita a un'epoca di maggiore prosperità e benessere, di conoscenze senza precedenti, ma il transitorio a questo stato potrà essere lungo, anche aspro, se non sapremo adattare ad esso, fin da subito, economia, politiche sociali, comportamenti collettivi [18]. Nel seguito, per approfondire il problema dell'IA negli aspetti etici, partiamo dalle possibilità (rischi e opportunità) aperte dai veicoli a guida autonoma, variante moderna dal dilemma del carrello/vagone ferroviario o vettura tranviaria (*trolley problem*).

## 5. Il problema del trolley e i dilemmi etici dell'IA

Il saggio monografico [29] propone e discute ben nove varianti del problema del trolley. Nella versione classica, illustrata in figura 3, un uomo vicino a una leva di uno scambio è di fronte all'alternativa di: 1) *non fare niente* e lasciare che un trolley in corsa incontrollata travolga cinque persone; oppure 2) *azionare deliberatamente* lo scambio deviando il mezzo su un ramo secondario dove, c'è una sola persona, che rimarrebbe, purtroppo, uccisa. L'alternativa di carattere etico è dunque un solo morto contro cinque, ma l'unica vittima sarebbe a causa di un atto volontario e non di fatalità.

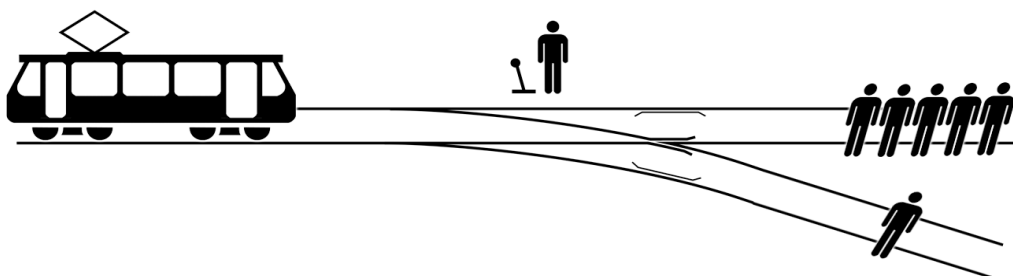


Figura 3

*Versione classica del dilemma del trolley: azionare o no lo scambio? (Da Wikipedia)*

Questa formulazione del dilemma, la cosiddetta *switch version*, fu proposta nel 1967 da Philippa Bonsanquet (poi Foot). Da allora sono stati pubblicati innumerevoli articoli di filosofia morale, sollevando così tante polemiche che all'intera questione è stato appiccicato l'ironico neologismo di "carrellologia" (*trolleyology*); sicché il problema con le sue innumerevoli varianti è diventato il paradigma più utilizzato nelle ricerche di psicologia morale e di *experimental philosophy*. Adattando il modello trolley della precedente figura ai veicoli con guida autonoma, l'articolo di *Nature* [30] riporta i risultati dell'esperimento Moral Machine, una piattaforma sperimentale online progettata dal Media Lab del MIT per esplorare i dilemmi morali che si incontrano in questo caso. In quattro anni, la piattaforma ha raccolto 40 milioni di pareri di persone da 233 Paesi, che hanno espresso priorità etiche diverse in relazione alle

proprie diversità culturali (per dettagliate analisi statistiche dei risultati si rinvia a [30], [31]).

Il filosofo dell'informazione Luciano Floridi (Università di Oxford), in pochi minuti di brillanti e serrate argomentazioni durante una lezione al Politecnico di Torino [32], riesce a dissacrare tutta l'aura metafisica del problema dimostrandone la fatuità. Egli osserva che l'alternativa posta conduce sempre a perdere, qualsiasi scelta si faccia, perché non si prendono in considerazione altre possibili soluzioni ingegneristiche (o tecniche) che consentirebbero di ampliare il ventaglio delle possibilità in modo da rilasciare i troppo stringenti vincoli originali. Nel caso specifico dell'auto, per esempio, si tratta di usare i freni di emergenza o il clacson, di sterzare, di spegnere il motore, ecc. La soluzione filosofica non c'è, la soluzione ingegneristica sì, e consente di cambiare una circostanza di gioco *lose-lose* (tutti i giocatori sono perdenti dal punto di vista morale) in una *win-win* (in pratica, tutti i giocatori vincono). Si potrebbe, peraltro, ribattere che la questione riguarda una scelta morale, non un problema tecnico, perché possono capitare situazioni in cui la tecnica non ha risposte, mentre la questione morale resta. Questo potrebbe essere il caso in cui una barca, pur affondando, si sta avvicinando alla costa, essendo spinta dalla corrente. Che cosa fare? Per salvare tutti gli altri, si butta a mare l'uomo più grasso a bordo? Sembra quasi che non ci sia via d'uscita, ma non è così.

L'etica delle macchine riguarda la questione di come i sistemi autonomi possano essere permeati di valori etici. Per una panoramica delle discussioni sui dilemmi etici sollevati dall'IA con proposte di soluzione, si suggeriscono gli aggiornati fascicoli tematici [33]-[35] di riviste scientifiche. Sistemi autonomi dotati di eticità – nei fini e nei comportamenti – sono necessari perché, inevitabilmente i sistemi del prossimo futuro saranno agenti morali. Siano automobili senza guidatore o diagnosi mediche basate su IA, questi sistemi dovranno fare scelte con norme sociali e conseguenze etiche. Sulle motivazioni per cui i progettisti hardware e software devono incominciare a preoccuparsi di includere aspetti etici nelle loro realizzazioni si rinvia agli articoli-saggio [36], [37] (da queste motivazioni nasce anche il fascicolo monografico [35]). Poiché l'IA si rapporta con le istituzioni sociali, i lavori [35] analizzano le implicazioni etiche in importanti settori applicativi socialmente rilevanti, quali l'istruzione, l'assistenza sanitaria e la cura degli anziani, i veicoli a guida autonoma. La loro *governance* tramite standard e processi trasparenti è necessaria per realizzare la piena sicurezza dei sistemi di AI in modo da conseguire la fiducia di buona parte dell'opinione pubblica.

Prendiamo un esempio concreto: quello delle diagnosi mediche o dei test giudiziari, che coinvolgono l'incertezza probabilistica [4], [5]. Sappiamo che ogni stima o sistema di classificazione produce sia falsi positivi sia falsi negativi. Anche se questo semplice concetto è ben noto agli esperti del campo, non è facile fornire una regola certa per determinare i costi relativi associati ai due errori. Peraltro, un sistema che operi, per esempio, nel campo della diagnostica medica, deve funzionare con numeri realistici e affidabili. La scelta dei valori e dei costi relativi riflette una decisione etica del progettista o del sistema progettato? Se riflette il progetto, la macchina può essere considerata etica? È chiaro che, come gli esseri umani, la macchine dovranno apprendere l'etica

adattandosi al contesto o alla situazione, al tempo, cioè dovranno essere adattative. Un'altra domanda inevitabile è: *“Qual è la gamma di situazioni e quali sono i parametri da considerare per l'adattatività?”* [36]. Poiché è improbabile che, nel prossimo futuro, la macchina sia in grado di trattare una gran varietà di situazioni diverse, si ritorna alla zona di comfort e alla necessità della supervisione umana, cui abbiamo accennato prima.

Una prima bozza di linee e principi guida di codice etico per l'IA è stata pubblicata dall'UE [38], mentre le raccomandazioni per una “Good AI Society” del gruppo AI4People sono disponibili in [39]. Lavori di questo livello testimoniano l'attenzione che l'Europa sta dedicando a un settore cruciale, cioè alla consapevolezza per un'etica dell'intelligenza artificiale [40].

In definitiva, Floridi non ha tutti i torti a cercare di smontare il dilemma del carrello, ma gli studiosi di discipline scientifiche (STEM – *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) e i filosofi devono lavorare per mettersi d'accordo su quali siano le regole morali degli esseri umani, prima di poter ridurre le considerazioni morali ad algoritmi. E con i nuovi sistemi tecnologici cognitivi, non sembra più utopistico realizzare automobili totalmente autonome con l'ambizioso obiettivo di azzerare (non solo minimizzare) i morti in incidenti stradali.

In campo militare, l'IA con i suoi algoritmi e processori rende già possibile la logistica dei mezzi di guerra in modo da farli convergere sul campo di battaglia in tempi rapidissimi, e si possono immaginare i rischi del passaggio alla guerra ibrida o interamente basata su mezzi informatici. L'esperto di IA Pedro Domingos prevede addirittura: *“Se mai scoppierà una cyberguerra, i generali saranno esseri umani, ma la fanteria sarà formata da algoritmi. Gli esseri umani sono troppo lenti e poco numerosi, e verrebbero spazzati via da un esercito di bot. Abbiamo bisogno di un nostro esercito di bot, e il machine learning sarà la loro accademia, la nuova West Point”* [41, p. 43]. Nell'inquietante scenario di una guerra robotica, le macchine saranno dotate di una crescente autonomia, ma, auspicabilmente, sotto la supervisione degli esseri umani, che dovranno quindi assumersi ancor più la responsabilità (*accountability*) di un comportamento etico.

## 6. Conclusione: alleanza tra humanities e scienze

*Se pensi all'anno prossimo, semina il granturco/ Se pensi ai prossimi 10 anni, pianta un albero/ Se pensi ai prossimi 100 anni, istruisci le persone*  
(Detto cinese)

*L'immaginazione è più importante della conoscenza. La conoscenza è limitata, mentre l'immaginazione abbraccia il mondo, stimolando il progresso e facendo nascere l'evoluzione*  
(Albert Einstein)

Le considerazioni sviluppate nel corso dell'articolo sul paradosso di Newcomb e sui problemi etici dell'IA fanno comprendere l'importanza di un approccio interdisciplinare basato sulle due culture su cui si fondano le società avanzate:

l'umanistico-letteraria e la tecnoscientifica. Non sembra perciò irrilevante cercare di cogliere, in queste osservazioni conclusive, le implicazioni positive, se l'interdisciplinarietà è percepita in modo costruttivo, negative, in caso contrario.

Un Paese, come il nostro, non cresce se non è consapevole che istruzione e formazione, ricerca, sviluppo e innovazione, brevetti e creatività in scienza e tecnologia sono i veri acceleratori del suo sviluppo qualitativo ed economico [42]. E bisognerà pure che qualità come talento, capacità, merito e professionalità tornino a essere premianti al posto dell'appartenenza. L'alleanza tra tecnoscienza e società, ancorché ineludibile, non può avvenire immediatamente, per il fatto che storicamente è una novità. Gli ostacoli, che si frappongono, non finiscono mai; oggi se ne deve registrare uno che di tanto in tanto riemerge, come un fiume carsico, nella politica e nei suoi apparati. Il sociologo Massimo Panarari [43] chiama "postmodernismo radicale":

*[Una] vera e propria ideologia antiscientifica (e anti-illuministica) [per cui] la scienza rappresenta una narrazione come le altre [...], il metodo sperimentale viene ricondotto a poco più di un discorso, e non si riconosce il fondamento obiettivo e oggettivo dei risultati che ne derivano (al punto che anche i numeri e le statistiche, insieme a coloro che li studiano e producono, sono fatti oggetto di virulenta polemica politica). Scienza e tecnica vengono considerate poco più che "ideologie" [...].*

Poiché scienza e politica agiscono su due piani diversi, oltre a non fare un uso strumentalmente politico della scienza, sarebbe importante che le decisioni strategiche attinenti alla scienza venissero prese sulla base di prove di efficacia scientifiche, sperimentalmente dimostrate e metodologicamente fondate. La morale di tutto ciò? È che c'è ancora molto da fare per colmare il divario tra la scarsa considerazione di cui gode la tecnoscienza rispetto alle discipline umanistiche, o per evitare che l'opinione pubblica italiana continui a subire il fascino di spiegazioni pseudoscientifiche spinte da un'epidemia senza precedenti di false notizie e verità alternative [44]. L'antidoto principale è partire sempre dalla ricerca dei fatti di cui sia accertata la verità, non dai media [45], con l'obiettivo minimo, eppure necessario, che tecnoscienza e società comunichino di più e, soprattutto, si capiscano meglio.

Chi pratica scienza e tecnica – perché, oltre a pensare, sa anche agire – ha il compito di esercitare un ruolo sia educativo sia sociale, da attore pubblico se non da *policymaker*; quindi, non può essere osservatore passivo del corso degli eventi. In questo quadro articolato e complesso, coloro che si occupano di scienza e tecnica, non solo dal punto di vista speculativo, mettono a frutto il loro bagaglio di conoscenze e professionalità, di esperienze e competenze nel progettare nuovi sistemi. Tuttavia, la dimensione progettuale da sola non è sufficiente; occorre, infatti, che gli esperti, disponendo di *skill* tanto operativi quanto intellettivi, dimostrino di saper intervenire nella società per interagire proficuamente con essa. E le imprese devono sostenerli, facendo la loro parte in modo attivo e consapevole [46].

In questo quadro, la preparazione di ricercatori, ingegneri, tecnici diventa fondamentale. Potremmo parafrasare un detto tradizionale con la sentenza: *“uno scienziato conosce ogni cosa di qualche cosa e qualche cosa di ogni cosa”*, pur con la consapevolezza che l'istruzione e le credenziali in un settore non garantiscono la competenza in ogni area. Con la sottolineatura degli obiettivi formativi, si chiude il cerchio; infatti, le aziende high tech richiedono oggi risorse umane altamente qualificate.

Poiché viviamo in un mondo che cambia vorticosamente, per operare efficacemente nella nuova realtà globale 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 più all'avanguardia propongono questo modello di istruzione e formazione (*new education*), non più vincolato a professionalità, know-how ed esperienze esclusivamente settoriali. Istruzione, conoscenza e competenza costituiscono il punto di partenza, non d'arrivo, di un processo che deve portare ad apprendere ininterrottamente per tutta la vita e nel quale esperienza e professionalità aumentano progressivamente il loro peso. È bene ricordare che è finita l'era delle carriere continue e strutturate basate su un'unica competenza specifica. Specializzarsi è dunque necessario, ma non più sufficiente: all'inizio degli anni Settanta, lo scrittore di fantascienza Robert Heinlein coniò una massima per cui *“la specializzazione va bene per gli insetti”*. Se una preparazione riconosciuta, specifica e approfondita, oggi, infastidisce molti, uno dei motivi è che la specializzazione non può che essere elitaria e, quindi, esclusiva [47]. A proposito di culto dell'ignoranza, per gli Stati Uniti Isaac Asimov commentava tempo fa: *“Una vena di antintellettualismo si è insinuata nei gangli vitali della nostra politica e cultura, alimentata dalla falsa nozione che democrazia significhi «la mia ignoranza vale tanto quanto la tua conoscenza».”* [44, p. 191]. La stessa osservazione è valida tuttora, a maggior ragione per noi.

Per quanto attiene alla sfera della riflessione sociale, il rapporto con l'opinione pubblica da parte di studiosi ed esperti implica una loro capacità di divulgazione, comunicazione e rappresentazione dei temi moralmente sensibili. Cioè, una comunicazione strategica, persuasiva e performativa, ma non resa univoca e dogmatica, o investita da valenze normative. La credibilità e la qualità sono dati essenziali perché l'informazione scientifica non sia recepita dal pubblico come atto censorio, bensì sia accolta come momento di presa di consapevolezza. Un non secondario compito di tecnici, ricercatori e scienziati è dunque saper comunicare in modo dialettico, cioè dialogare – nei luoghi deputati – sui temi indicati mediante una lingua comprensibile anche ai non specialisti, senza ostentare forme di *hybris* tecnologica. La consapevolezza del ruolo e la conseguente assunzione di responsabilità da parte di chi detiene l'*expertise* (la competenza tecnoscientifica) sono leve fondamentali per superare la frammentazione di senso e di obiettivi tra protagonisti e decisori diversi.

Secondo quanto esposto in [48], otto sono le arti liberali che concorrono al successo persino negli investimenti finanziari (nell'ordine: fisica, biologia, sociologia, psicologia, filosofia, letteratura, matematica e teoria delle decisioni);

la riuscita in campo azionario o, più in generale, negli affari dipende da un mix di questi fattori. La interdisciplinarietà, associata alla passione in più aree del sapere, corrisponde a ciò che Charlie Munger – sodale e partner di Warren Buffett – chiama un reticolo di idee (*latticework of ideas*), che integra all'interno di una cornice unitaria la “saggezza” frutto delle conoscenze citate (*worldly wisdom*).<sup>13</sup> Certamente significativa e sorprendente è questa convergenza di realtà tradizionalmente considerate distinte e non comunicanti in un settore pratico, se non utilitaristico, come quello finanziario. Ricordiamo, peraltro, che il colto ed eclettico John Maynard Keynes fu, oltre che leggendario economista, un brillante amministratore di beni pubblici e privati grazie a investimenti oculatamente selezionati in campo finanziario.

Che un leader di successo in un qualsiasi settore debba avere un bagaglio di conoscenze provenienti dalle due culture è pure conseguenza delle tesi discusse dal fisico e romanziere inglese Charles P. Snow in un saggio di quasi sessant'anni fa. Non sorprende che questo lavoro di cento dense paginette sia stato snobbato, spesso stroncato, da umanisti e letterati influenzati dal solito pregiudizio antiscientifico. Meritoriamente, il saggio è stato riproposto in italiano da Alessandro Lanni, arricchito dagli interventi di esponenti culturali primari quali Giulio Giorello, Giuseppe O. Longo e Piergiorgio Odifreddi [49].

Come tanti altri studiosi attenti all'innovazione tecnologica, crediamo che i Paesi, le imprese, i leader, i giovani talenti che sanno sfruttare al meglio le opportunità della rivoluzione digitale, controllandone allo stesso tempo i rischi connessi, abbiano in mano il futuro. Con tutte le attenzioni e cautele che sapremo mettere in atto eviteremo il rischio di trasformarci da *Homo sapiens sapiens* in *insipiens digitalis*. In ogni caso, la riflessione critica e razionale – la capacità, cioè, di esaminare nuove informazioni e idee in modo spassionato, logico e senza pregiudizi o preconcetti emotivi – non deve e non può significare critica fine a sé stessa [47]. Senza dimenticare che l'*hybris* nella tecnoscienza [50] e nell'economia [51] è fonte di errori e fallimenti memorabili, dai quali, peraltro, si può imparare con l'umiltà. “*Conoscere per deliberare*” è il quanto mai attuale ammonimento di Luigi Einaudi. Conoscenza da intendere, come già ricordato in [6], quale pratica collettiva del pensiero critico.

In questo articolo, come nei precedenti [4]-[6], abbiamo fatto largo uso di enigmi e rompicapi logico-matematici, non solo per introdurre una nota più divertente e leggera, ma anche, perché essi consentono di analizzare le ragioni che impediscono alle persone di trovare *immediatamente* la soluzione corretta, anche se *a posteriori* la risposta per molti di essi risulta ovvia (cfr. [7], [52] e riquadro 3).

L'obiettivo principale, che si spera conseguito almeno in parte, è stato di mostrare come i due saperi – l'umanistico e lo scientifico – essendo complementari, se non del tutto consustanziali, possano fruttuosamente contaminarsi interagendo, pur nel rispetto dell'autonomia degli statuti

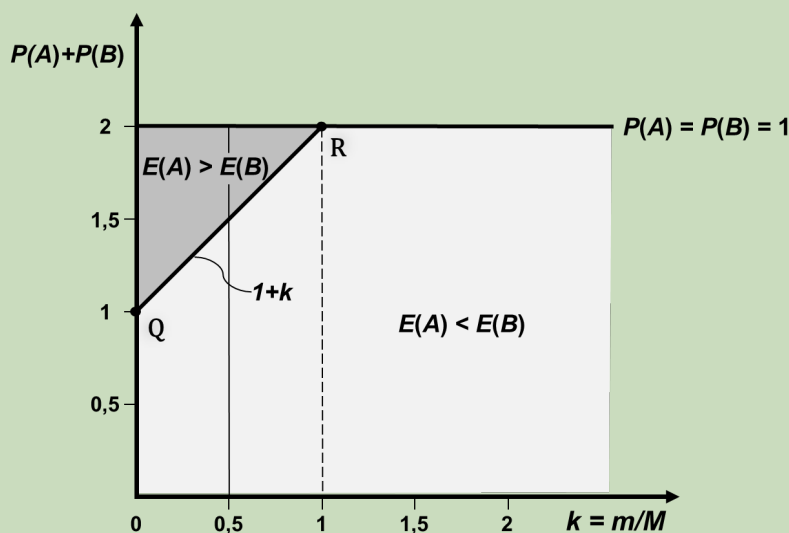
<sup>13</sup> La metafora del reticolo (o graticcio), essendo rappresentativa delle molteplici e interconnesse discipline afferenti alle due culture, sembra più calzante di quella comunemente adottata per visualizzare linearmente lo stesso concetto mediante l'analogia del binario, ossia una coppia di rotaie connesse da traversine (le relazioni).

epistemologici e dell'indagine metodologica, che competono alle loro singole discipline costituenti. Si spera di non dover più assistere in futuro a posizioni, prive di riscontri fattuali e logicamente non motivate, da parte di inguaribili esponenti di una tecnofobia distopica e passatista, i quali sostengono che la tecnoscienza non solo non crea cultura, ma addirittura che è, sempre e in ogni caso, dannosa per l'uomo. È proprio questa mentalità che ci preclude di investire in istruzione, innovazione tecnologica e alfabetizzazione scientifica, come e quanto sarebbe necessario, se prendessimo a modello i Paesi più avanzati.

In ogni caso, bisogna tenere in conto che, per tornare – certo senza pretese di ecumenismo – a una visione organica, strutturale, sistemica e plurale della cultura, come quella dell'*Encyclopédie*, ci vorranno ancora molto tempo e intenso lavoro, dedicati a erigere ponti, non steccati o muri.

### Riquadro 1 – Riesame del paradosso di Newcomb generalizzato

La discussione dei casi particolari chiarisce l'utilità delle formule di scelta:  $P(A) + P(B) \geq 1 + 1/K$  o l'equivalente  $P(A) + P(B) \geq 1 + k$  (cfr. par. 3) e ne dimostra la duttilità. Permette, inoltre, di acquisire dimestichezza sulla convenienza di una scelta anziché l'altra. A questo scopo, vedremo che la figura 4 mostra le aree di convenienza delle due scelte A e B nel piano cartesiano costituito da  $k = m/M$  (in ascisse) e  $P(A) + P(B)$  (in ordinate). Entrambe le scale sono lineari.



**Figura 4**

*Paradosso di Newcomb generalizzato e aree di convenienza in funzione di k: nella grigia conviene la scelta A (solo lo scatolone); nella bianca conviene la scelta B (entrambe le scatole). Sulla frontiera QR la scelta è indifferente*

Nel corpo del testo, abbiamo già visto che, per massimizzare il valore atteso, la scelta migliore è lo scatolone da solo (azione  $A$ ) con i valori del problema originale:  $m = € 1.000$  e  $M = € 1.000.000$ , cioè  $K = 1.000$ , e supponendo  $P(A) = P(B) = 0,9$ .

Più in generale, se  $K = 1.000$  e se  $P(A) + P(B) \geq 1,001$  l'opzione migliore è la  $A$  (solo lo scatolone); infatti, purché l'oracolo faccia meglio, anche di poco, della pura casualità,  $P(A)$  e  $P(B)$  sono entrambe maggiori di 0,5. Se invece  $P(A) = P(B) = 0,5$ , la scelta ottimale diventa  $B$  (entrambe le scatole) perché  $1 < 1,001$ . Se, più in generale,  $P(A) = P(B) = p$ , deve essere  $p \geq 0,5 + 1/(2K)$  o  $p \geq 0,5 + 0,5k$  perché la scelta sia solo lo scatolone (opzione  $A$ ).

Se la vincita rimane € 1.000 per la scatola, ma scende a € 2.000 (potenziali) per lo scatolone, risulta  $K = 2$  ( $k = 0,5$ ) e  $1 + 1/K = 1 + k = 1,5$ . Pertanto si richiedono due probabilità abbastanza elevate nel totale  $P(A) + P(B)$  per decidere di scegliere  $A$  (solo lo scatolone), cioè occorre essere convinti che l'oracolo sia piuttosto efficace nelle sue previsioni (cfr. nota 6).

È infine interessante il caso-limite in cui l'algoritmo azzeccchi tutte le previsioni:  $P(A) = P(B) = 1$ . La convenienza di scegliere  $A$  (solo lo scatolone) implica  $K \geq 1$  (o  $k \leq 1$ ), cioè  $M \geq m$ . La controprova è che, essendo  $E(A) = mK$  e  $E(B) = m$ , si ha  $E(A) \geq E(B)$  se  $K \geq 1$  ovvero  $k \leq 1$ . Nel caso opposto ( $K < 1$  o  $M < m$ ), la scelta migliore diventa la  $B$ , in quanto  $E(A) < E(B)$ .<sup>14</sup> In particolare, se anche  $K = k = 1$ , la scelta è indifferente dal punto di vista del valore atteso:  $E(A) = E(B)$ .

Tutte queste combinazioni sono riassunte nella citata figura 4. Nell'area grigia conviene solo lo scatolone (scelta  $A$ ); nella zona bianca è preferibile la scelta  $B$  (entrambe le scatole). La spezzata che delimita la frontiera è tale poiché ciascuna delle due probabilità  $P(A)$  e  $P(B)$  non può superare il valore 1. Il segmento QR rappresenta quindi l'insieme dei punti di pareggio (*break-even*) tra le due scelte.

Notare che la figura può risultare ingannevole, perché il valore della sua ascissa  $k$  non è, teoricamente, limitato. In pratica, per come abbiamo posto e discusso il problema,  $k$  è da intendere molto piccolo: nell'esempio classico è  $1/1.000 = 0,001$ . Quindi, il triangolo grigio (la scelta  $A$  è migliore della  $B$ ) risulta delimitato da valori alquanto realistici di  $k$  (o  $K$ ),  $P(A)$  e  $P(B)$ , ed è assai più significativo dell'area bianca (dove  $B$  è preferibile ad  $A$ ), che è, ma solo graficamente, non limitata. In conclusione, come per il caso particolare descritto nel par. 3, è confermato che:

<sup>14</sup> La figura 4, mostra chiaramente, che a partire da  $k = 1$  in su, la scelta  $B$  (entrambe le scatole) è sempre migliore rispetto alla  $A$  (solo lo scatolone). Infatti, se l'entità del premio nella scatola piccola diventa più alta di quella dello scatolone, la convenienza della scelta si sposta, anche intuitivamente, verso la  $B$ , in quanto l'ammontare dello scatolone incide sempre meno sul guadagno complessivo. Questo scenario, pur matematicamente corretto, non corrisponde però allo spirito originale del problema, che prevede uno sbilanciamento netto tra i due premi a favore di quello nello scatolone, cioè  $k$  molto piccolo (o  $K$  molto grande).

**Per valori significativi di  $k$  (o  $K$ ),  $P(A)$  e  $P(B)$ , cioè nell'area grigia della figura 4, il criterio di scelta del valore atteso più conveniente fa preferire la scelta dello scatolone da solo (opzione A) rispetto a entrambe le scatole (opzione B).**

Un altro approccio per arrivare agli stessi risultati è di analizzare le due relazioni (lineari) di  $E(A)$  ed  $E(B)$ , ricavate nel paragrafo 3:

$$E(A) = mKP(A)$$

$$E(B) = m(K + 1) - P(B)(mK)$$

o, più semplicemente i loro valori normalizzati al parametro  $mK$ . Lasciamo al lettore lo studio degli andamenti di queste rette sul piano cartesiano, che definiscono senza ambiguità, all'unico punto di incrocio, le aree di convenienza per le opzioni A e B.

## **Riquadro 2 – I dilemmi morali di Churchill durante la Seconda guerra mondiale**

A partire dall'agosto 1941, con la decrittazione di Enigma a Bletchley Park [53], gli inglesi erano in grado di vedere quasi tutte le carte dell'avversario e fare, quindi, un uso militare delle informazioni segretamente intercettate. Il personaggio di Alan Turing nel film *The Imitation Game* dichiara di poter sviluppare con i colleghi *“un sistema per determinare ogni quante informazioni agire, quale attacco fermare, quale lasciar correre. Le statistiche, il numero minimo di azioni per vincere la guerra, ma il numero massimo da intraprendere perché i tedeschi non sospettino mai”*. In effetti, il servizio MI6 dell'intelligence britannica poté usufruire di un criterio metodologicamente fondato per decidere, giorno per giorno, quali obiettivi decrittati colpire e quali no, senza svelare le proprie mosse al nemico. Naturalmente, il premier Churchill, costantemente tenuto al corrente, era il solo ad avere la responsabilità militare delle decisioni da prendere nei singoli casi.

Mentre a Bletchley Park si parlava di giochi, sull'Atlantico i britannici impiegavano la stessa logica dell'ottimizzazione nei combattimenti contro i sommergibili tedeschi. Possiamo dire che i criteri di ottimizzazione strategica – fra cui il MinMax e il MaxMin [6] – della disciplina che va sotto il nome di ricerca operativa costituiscono una buona, se non la migliore, matematizzazione del pragmatismo di matrice angloamericana.

Tre anni dopo, Churchill si sarebbe trovato di fronte a un altro dilemma morale, considerato l'origine del problema del trolley (cfr. par. 5). Secondo una narrazione aneddotica ripresa da [29, cap. 1], il dilemma trae origine da un episodio reale avvenuto durante la seconda guerra mondiale:

*Alle 4:13 del 13 giugno 1944, Londra fu colpita dalla prima bomba volante, denominata dai nazisti V1. Le V1 erano una sorta di missile lanciate da basi poste nella Francia occupata. Alla prima V1 ne seguirono centinaia che colpirono Londra con effetti devastanti. Erano ordigni potenti ma imprecisi e i tedeschi avevano bisogno di sapere dove cadevano le V1, per adeguarne la traiettoria e colpire il centro di Londra, al fine di causare il maggior numero di vittime e danni. Gli inglesi, tramite agenti segreti che facevano il doppio gioco erano in grado di passare ai nazisti informazioni false sui reali luoghi di caduta delle V1, quindi potevano far modificare le traiettorie delle bombe volanti in modo da salvaguardare le zone centrali di Londra, più abitate e frequentate, a discapito di aree più periferiche e meno affollate della città. [...] La decisione ultima spettava a Churchill, il quale, già in altre occasioni, aveva dimostrato di non avere molte remore a prendere decisioni drammatiche [per esempio, quattro anni prima in occasione dell'Operazione Dynamo per l'evacuazione da Dunkerque della truppe inglesi e di parte delle francesi (N.d.A.)]. I servizi segreti inglesi fecero arrivare ai nemici informazioni false per depistarli. L'operazione ebbe successo e le V1 cominciarono a cadere sui quartieri meridionali di Londra. Furono salvate 10.000 vite ma, dopo la guerra, non fu mai data grande pubblicità alla notizia. (Adattamento da [54]).*

Solo negli ultimi decenni, sia pur parzialmente e con molta cautela, l'intelligence britannica ha consentito che qualche tassello della storia dell'operazione Ultra, compresa la decrittazione di Enigma, fosse divulgato [53].

### Riquadro 3 – Un enigma di logica

Questo intrigante quesito logico (cfr., per es., [11, pp. 70-71]) – molto popolare tra gli informatici e gli psicologi dell'Università di Toronto – costituisce un'efficace sintesi di come, con l'esercizio della ragione e del pensiero critico, sia possibile superare errori di valutazione. Il problema, benché lineare e formulato senza alcuna malizia sottesa (cioè, nessuna informazione è fasulla o mascherata, né la descrizione è artatamente ingannevole), riceve dalla maggioranza delle persone interpellate una risposta intuitiva, ma non corretta. La soluzione appare ovvia solo *ex post*.

**Formulazione.** Ci sono tre persone: Jack, Anna e George. Jack sta guardando Anna, mentre Anna sta guardando George. Sappiamo che Jack è sposato e George no. La descrizione della scena e del suo contesto finisce qui.

**Domanda.** Sapete dire se, fra le tre persone, ce n'è una sposata che sta guardando un'altra non sposata? Ossia, qual è la risposta corretta fra le tre

possibili: A) sì, c'è una persona sposata che sta guardando una persona non sposata; B) no, non ce ne è nessuna; C) non si può stabilire con certezza?

Non sapendo se Anna sia sposata o no, la maggioranza degli interpellati sceglie istintivamente la C) non si può stabilire con certezza. E voi cosa ne dite? Pensateci su con calma, prima di leggere la:

**Soluzione.** Per trovare la risposta corretta, basta considerare lo stato civile di Anna che può essere: 1) non sposata oppure 2) sposata. Analizziamo queste due possibilità:

**1) Se Anna non è sposata, allora Jack, che è sposato, sta guardando una persona non sposata: Anna.**

Se invece:

**2) Anna è sposata, lei stessa sta guardando una persona non sposata: George.**

In entrambi i casi la risposta è inevitabilmente:

**A) Sì, c'è una persona sposata che sta guardando una persona non sposata.**

**Morale.** Perché questo indovinello, a tutta prima, appare così complicato? La ragione è che l'informazione di partenza sembra essere insufficiente: lo stato civile di Anna non è noto né può essere inferito dalle condizioni iniziali; così l'intervistato – tramite il suo Sistema 1 veloce e istintivo nel decidere, ma impreciso [7] – conclude che anche la domanda sia indeterminata. Invece, lo stato maritale di Anna è irrilevante per la risposta, che ora ci appare ovvia.

Ogni problema diventa facile una volta che se ne conosca la soluzione, purché si siano analizzate tutte le possibilità. Anziché dare istintivamente una risposta non corretta (indotta dal Sistema 1), bisogna prima riflettere, attivando il Sistema 2, lento ma affidabile. Lo svantaggio è che, in termini di tempo ed energia, questo processo, in quanto basato sul ragionamento logico, è più dispendioso di quello del Sistema 1. In conclusione, l'esempio precedente riassume, in modo semplice ed efficace, l'essenza del pensiero critico come metodo di scelta.

## Bibliografia

- [1] Tomasin, L. (2018). "La tecnologia salverà le lingue?", *Domenica-Il Sole 24 Ore*, 96 (8 aprile), 23.
- [2] Barone, V. (2016). *Albert Einstein. Il costruttore di universi*, Laterza.
- [3] Harris, J. (2017). "Il mondo salvato dai robot", *Domenica-Il Sole 24 Ore*, 167 (25 giugno), 27.
- [4] Luvison, A. (2013). "Apologia della ragione scientifica", *Mondo Digitale – Rassegna critica del settore ICT*, 45 (marzo), 1-28, <http://>

mondodigitale.aicanet.net/2013-1/articoli/05\_LUVISON.pdf (ultimo accesso marzo 2019).

[5] Luvison, A. (2014). "Apologia della ragione scientifica – II: strumenti per decidere", *Mondo Digitale – Rassegna critica del settore ICT*, 55 (dicembre), 1-31, [http://mondodigitale.aicanet.net/2014-7/articoli/03\\_Apologia\\_della\\_ragione\\_scientifica\\_II.pdf](http://mondodigitale.aicanet.net/2014-7/articoli/03_Apologia_della_ragione_scientifica_II.pdf) (ultimo accesso marzo 2019).

[6] Bassetti T., Luvison, A. (2018). "Apologia della ragione scientifica – III: decisioni e giochi strategici", *Mondo Digitale – Rassegna critica del settore ICT*, 76 (maggio), 1-30, [http://mondodigitale.aicanet.net/2018-3/Articoli/MD76\\_01\\_Apologia\\_della\\_ragione\\_scientifica-III.pdf](http://mondodigitale.aicanet.net/2018-3/Articoli/MD76_01_Apologia_della_ragione_scientifica-III.pdf) (ultimo accesso marzo 2019).

[7] Kahneman, D. (2012). *Pensieri lenti e veloci*, Mondadori.

[8] Lewis, M. (2017). *Un'amicizia da Nobel. Kahneman e Tversky, l'incontro che ha cambiato il nostro modo di pensare*, Raffaello Cortina Editore.

[9] Thaler, R.H. (2018). *Misbehaving. La nascita dell'economia comportamentale*, Einaudi.

[10] Hagstrom, R.G. (2014). *Il metodo Warren Buffett. I segreti del più grande investitore del mondo*, 3ª edizione, Hoepli.

[11] Stanovich, K.E. (2009). *What Intelligence Tests Miss: The Psychology of Rational Thought*, Yale University Press.

[12] Rosenhouse, J., (2009). *The Monty Hall Problem: The Remarkable Study of Math's Most Contentious Brain Teaser*, Oxford University Press.

[13] Herbranson, W.T., Schroeder, T. (2010). "Are birds smarter than mathematicians? Pigeons (*Columbia livia*) perform optimally on a version of the Monty Hall Dilemma", *Journal of Comparative Psychology*, 1 (febbraio), 1-13, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3086893/> (ultimo accesso marzo 2019).

[14] Nozick, R. (1969). "Newcomb's problem and two principles of choice", in Rescher, N., et al. (a cura di), *Essays in Honor of Carl G. Hempel: A Tribute on the Occasion of his Sixty-Fifth Birthday*, D. Reidel Publishing Company, 114-146.

[15] Gardner, M. (1973). "Mathematical games. Free will revisited with a mind-bending paradox by William Newcomb", *Scientific American*, 1 (luglio), 104-109. Tr. it. (1974). "Giochi matematici. Ancora sul libero arbitrio, con un affascinante paradosso di William Newcomb", *Le Scienze*, 65 (gennaio), 100-104.

[16] Nozick, R. (1974). "Mathematical Games. Reflections on Newcomb's problem: A prediction and free-will dilemma", *Scientific American*, 3 (marzo), 102-108. Tr. it. (1974). "Giochi matematici. Riflessioni sul paradosso di Newcomb: un dilemma sulla predizione e il libero arbitrio", *Le Scienze*, 72 (agosto), 106-111.

[17] Gardner, M. (2001). "Newcomb's paradox", in *The Colossal Book of Mathematics*, W. W. Norton & Company, 580-591.

- [18] Rasetti, M. (2019). "Big Data, Scienza dei Dati, Intelligenza Artificiale: sfide, prospettive, sogni e pericoli", relazione al *Convegno "Saperi e metodologie a confronto"*, Accademia delle Scienze di Torino, 22 gennaio, [https://www.youtube.com/watch?v=E3jmwD\\_sjsM](https://www.youtube.com/watch?v=E3jmwD_sjsM) (ultimo accesso marzo 2019).
- [19] Luvison, A. (2017). "L'ecosistema dell'innovazione digitale: analisi critica", *AEIT*, 3/4 (marzo/aprile), 6-27, [http://www.aeit.it/aeit/edicola/aeit/aeit2017/aeit2017\\_02\\_cisa/aeit2017\\_02\\_riv.pdf](http://www.aeit.it/aeit/edicola/aeit/aeit2017/aeit2017_02_cisa/aeit2017_02_riv.pdf) (ultimo accesso marzo 2019).
- [20] Wildberger, N.J. (2013). "Famous math problems 7: Newcomb's paradox", 19 febbraio, <https://www.youtube.com/watch?v=aR5GYeZkgvY> (ultimo accesso marzo 2019).
- [21] Gallucci, M. (2007). "Paradosso di Newcomb e dilemma del prigioniero: quando il problema non è la scelta da compiere, bensì la teoria in cui credere", Tesi di laurea specialistica in Scienze economiche (anno accademico 2006-2007), Università di Pisa, <https://core.ac.uk/download/pdf/14695341.pdf> (ultimo accesso marzo 2019).
- [22] Wilson, H.J., Daugherty, P.R. (2018). "Collaborative intelligence: Humans and AI are joining forces", *Harvard Business Review*, 4 (luglio-agosto), 114-123.
- [23] Davenport, T.H. (2018). *The AI Advantage: How to Put the Artificial Intelligence to Work*, The MIT Press.
- [24] Luvison, A. (2019). "La società e l'ecosistema digitale", in Pozzi, P. (a cura di), *Immagini del digitale. Dopo il Bit Bang*, Nemapress Edizioni, in corso di stampa.
- [25] AA. VV. (2017). "Special Report: Can We Copy the Brain?", *IEEE Spectrum*, 6 (giugno), <https://spectrum.ieee.org/static/special-report-can-we-copy-the-brain> (ultimo accesso marzo 2019).
- [26] B. Bryson, B. (2017). "Persi a Cyberlandia", in *Notizie da un grande paese*, Guanda, 315-319.
- [27] Anderson, C. (2008). *La coda lunga. Da un mercato di massa a una massa di mercati*, Codice Edizioni.
- [28] Levesque, H.J. (2018). *Common Sense, the Turing Test, and the Quest for Real AI*, The MIT Press.
- [29] Edmonds, D. (2014). *Uccideresti l'uomo grasso? Il dilemma etico del male minore*, Raffaello Cortina Editore.
- [30] Awad, E., et al. (2018). "The Moral Machine experiment", *Nature*, 563 (1 novembre), 59-64, <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0637-6.pdf> (ultimo accesso marzo 2019).
- [31] Hao, K. (2018). "Should a self-driving car kill the baby or the grandma? Depends where you're from", *MIT Technology Review*, 24 ottobre, <https://www.technologyreview.com/s/612341/a-global-ethics-study-aims-to-help-ai-solve-the-self-driving-trolley-problem/> (ultimo accesso marzo 2019).
- [32] Floridi, L. (2017). "L'intelligenza artificiale. Cosa cambierà nella nostra società e nella nostra vita", 14 novembre, Politecnico di Torino, <https://>

www.fondazione scuola.it/costruire-futuro/intelligenza-artificiale (ultimo accesso marzo 2019).

[33] AA. VV. (2016). "Dossier Intelligenza artificiale – Auto senza guidatore", *Le Scienze*, 576 (agosto), pp. 38-55.

[34] AA. VV. (2017). "Special Issue: Machine Law", *Artificial Intelligence and Law*, 3 (settembre), 251-378, <https://www.springerprofessional.de/en/artificial-intelligence-and-law-3-2017/15085774> (ultimo accesso marzo 2019).

[35] AA. VV. (2019). "Special Issue: Machine Ethics: The Design and Governance of Ethical AI and Autonomous Systems", *Proceedings of the IEEE*, 3 (marzo).

[36] Trussell, H.J. (2018). "Point of view: Why a Special Issue on Machine Ethics", *Proceedings of the IEEE*, 10 (ottobre), 1774-1778, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8472909> (ultimo accesso marzo 2019).

[37] Bonnefon, J.-F., Shariff, A., Rawhan, I. (2019). "Point of view: The trolley, the bull bar, and why engineers should care about the ethics of autonomous cars", *Proceedings of the IEEE*, 3 (marzo), 502-504, <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8662742> (ultimo accesso marzo 2019).

[38] The European's Commission High-Level Experts Group on Artificial Intelligence (2018). *Draft Ethics Guidelines for Trustworthy AI: Working Document for Stakeholders' Consultation*, 18 dicembre, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/draft-ethics-guidelines-trustworthy-ai> (ultimo accesso marzo 2019).

[39] Floridi, L., et al. (2018). "AI4People – An ethical framework for Good AI Society: Opportunities, risks, principles, and recommendations", *Minds and Machines*, 4 (dicembre), 689-707, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11023-018-9482-5.pdf> (ultimo accesso marzo 2019).

[40] Floridi, L. (2019). "Consapevolezza per un'etica dell'intelligenza artificiale", *Il Sole 24 Ore*, 12 (13 gennaio), 11.

[41] Domingos, P. (2016). *L'algoritmo definitivo. La macchina che impara da sola e il futuro del nostro mondo*, Bollati Boringhieri.

[42] Defez, R. (2018). *Scoperta. Come la ricerca scientifica può aiutare a cambiare l'Italia*, Codice Edizioni.

[43] Panarari, M. (2018). "Se la scienza diventa ideologia", *La Stampa*, 307 (7 novembre), 21.

[44] Tipaldo, G. (2019). *La società della pseudoscienza. Orientarsi tra buone e cattive spiegazioni*, il Mulino.

[45] Rosling, H., con Rosling, O. e Rosling Rönnlund, A. (2018). *Factfulness. Dieci ragioni per cui non capiamo il mondo e perché le cose vanno meglio di come pensiamo*, Rizzoli.

[46] Luvison, A. (2018). "Editoriale. L'ecosistema digitale: le responsabilità di chi sviluppa l'ICT", *AEIT*, 7-8 (luglio-agosto), 4-5, [https://www.aeit.it/aeit/edicola/aeit/aeit2018/aeit2018\\_04\\_cisa/aeit2018\\_04\\_riv.pdf](https://www.aeit.it/aeit/edicola/aeit/aeit2018/aeit2018_04_cisa/aeit2018_04_riv.pdf) (ultimo accesso marzo 2019).

- [47] Nichols, T. (2018). *La conoscenza e i suoi nemici. L'era dell'incompetenza e i rischi per la democrazia*, LUISS University Press.
- [48] Hagstrom, R.G. (2013). *Investing: The Last Liberal Art*, seconda edizione, Columbia Business School.
- [49] Snow, C.P. (2005). *Le due culture* (a cura di Lanni, A.), I libri di Reset-Marsilio.
- [50] Bucchi, M. (2018). *Sbagliare da professionisti. Storie di errori e fallimenti memorabili*, Rizzoli.
- [51] Baumol, W.J. (2005). "Errors in economics and their consequences", *Social Research*, 1 (primavera), 169-194.
- [52] Bar-Hillel, M., Noha, T., Frederick, S. (2018). "Learning psychology from riddles: The case of stumpers", *Judgement and Decision Making*, 1 (gennaio), 112-122, <http://www.ratio.huji.ac.il/sites/default/files/publications/dp714.pdf> (ultimo accesso marzo 2019).
- [53] Luvison, A. (2015). "La crittologia da arte a scienza: l'eredità di Shannon e Turing", *Mondo Digitale – Rassegna critica del settore ICT*, anno XIV, 60 (novembre), 1-31, [http://mondodigitale.aicanet.net/2015-5/articoli/03\\_crittologia\\_da\\_arte\\_a\\_scienza.pdf](http://mondodigitale.aicanet.net/2015-5/articoli/03_crittologia_da_arte_a_scienza.pdf) (ultimo accesso marzo 2019).
- [54] Mancini, F. (2015). "Il dilemma del trolley, il conflitto tra colpa deontologica e colpa altruistico/umanitaria e il disturbo ossessivo", *State of Mind*, 25 maggio, <http://www.stateofmind.it/2015/05/colpa-disturbo-ossessivo/> (ultimo accesso marzo 2019).

## Biografie

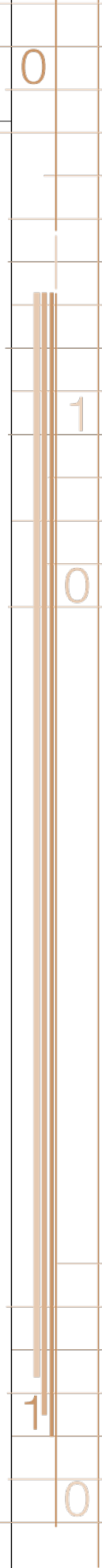
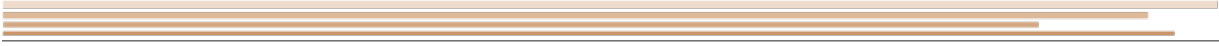
**Thomas Bassetti** è professore associato di Politica Economica presso l'Università degli Studi di Padova (Dipartimento di Scienze Economiche e Aziendali "Marco Fanno"), dove insegna "Macroeconomia", "Monetary and Fiscal Policy" e "Economics of Human Capital". Dopo aver conseguito la laurea in Economia e Commercio presso l'Università degli Studi di Pisa, ha passato un periodo di ricerca come Honorary Fellow alla Wisconsin University-Madison per poi tornare in Italia e concludere il dottorato di ricerca in Economia Politica, sempre a Pisa. Tra le sue pubblicazioni troviamo riviste internazionali come: *Journal of Socio-Economics*, *Environmental and Resource Economics*, *Economic Inquiry*, *Journal of Family Business Strategy* e *Applied Economics*. I suoi attuali interessi di ricerca riguardano soprattutto l'economia ambientale e il finanziamento delle campagne elettorali.

Email: [thomas.bassetti@unipd.it](mailto:thomas.bassetti@unipd.it)

**Angelo Luvison** è ingegnere elettronico (Politecnico di Torino) dal 1969, con successivi perfezionamenti in teoria statistica delle comunicazioni al MIT e in management aziendale all'INSEAD-CEDEP di Fontainebleau. Per oltre trent'anni in CSELT, ha svolto e diretto ricerche in teoria delle comunicazioni, reti di fibre ottiche ad alta velocità, società dell'informazione, anche nell'ambito di progetti cooperativi internazionali. È stato professore di "Teoria dell'Informazione e della

Trasmissione” all’Università di Torino. Ha ricoperto la posizione di segretario generale dell’AEIT. Nell’ambito di Federmanager, la maggiore associazione nazionale dei dirigenti d’aziende industriali, si è occupato di formazione permanente ed è stato presidente di Federmanager Piemonte. Detiene sette brevetti e, tra saggi e articoli scientifici e divulgativi, è autore, o coautore, di oltre 200 lavori, uno dei quali è stato ripubblicato (2007) nel volume celebrativo *The Best of the Best: Fifty Years of Communications and Networking Research* della IEEE Communications Society. È Life Member dell’IEEE, membro del Comitato scientifico di *Mondo Digitale*, del Comitato editoriale di *AEIT* e dell’Advisory Board di *Harvard Business Review*. Si occupa e scrive di temi di innovazione per l’informatica e le telecomunicazioni.

Email: [angelo.luvison@alice.it](mailto:angelo.luvison@alice.it); [angelo.luvison@gmail.com](mailto:angelo.luvison@gmail.com)



# Mobile learning: partire da un'analisi della letteratura esistente per comprendere i fattori che ne possono influenzare l'adozione

A. Giardi

## Sommario

*L'obiettivo del presente articolo è quello di mettere a disposizione dei ricercatori che si occupano di Information and Communications Technology (ICT), didattica e apprendimento i risultati di una ricerca bibliografica sul mobile learning al 31 dicembre 2016. Partendo dai risultati di questa ricerca sono state analizzate alcune opere di revisione della letteratura. Le conclusioni emerse in tali opere sono state raggruppate in sei categorie, comparate con le conclusioni di altre pubblicazioni che trattavano le stesse tematiche in un'ottica mobile e integrate con alcune considerazioni personali dell'autore, in modo da comprendere i fattori che possono influenzare la decisione di adottare il mobile learning. Il fine conclusivo è quello di contribuire al dibattito in corso sull'innovazione basata sulla tecnologia, al fine di favorire un ulteriore dialogo e uno scambio di conoscenze tra la pratica didattica e la ricerca in materia d'istruzione.*

## Abstract

*The aim of this paper is to make available to researchers involved in Information and Communications Technology (ICT), teaching and learning the results of a bibliographic research on mobile learning at 31 December 2016. Starting from the results of this research some literature review works have been analyzed. The conclusions emerged in these works have been grouped into six categories, compared with the conclusions of other publications dealing with the same topics in a mobile perspective and integrated with some personal considerations of the author, to understand the factors that*



*may influence the decision to adopt mobile learning. The final purpose is to contribute to ongoing debate on technology-based innovation, in order to promote further discussion and knowledge exchange between teaching practice and educational research.*

**Keywords:** Information and communications technology, ICT, Mobile, Mobile learning, M-learning, Mobile course, Mobile model

## 1. Introduzione

L'utilizzo della tecnologia *mobile* si è sviluppato a tal punto negli ultimi anni che la sua diffusione supera quella dei *personal computer*. Tali strumenti permettono di accedere a una grandissima varietà di informazioni rimanendo "sempre" e "ovunque" connessi. Parallelamente all'incremento del numero di dispositivi mobili prodotti, è cresciuta la convinzione che tali risorse possano essere utilizzate in maniera efficace anche nei processi d'apprendimento [1] [2].

L'aggiunta dell'aggettivo "*mobile*" al termine "apprendimento" è la presa d'atto di queste novità. Numerose sono le definizioni che mettono in rilievo i diversi aspetti del *mobile learning*.

In un primo tempo l'accento viene posto sulla differenza/analogia con l'*e-learning*. Il *mobile learning* è la naturale evoluzione dell'*e-learning* "... *is e-learning using mobile device and wireless trasmission ...*" [3 pag 255] ma necessita di un approccio pedagogico specifico "... *the same approach to creating an eLearning unit won't necessarily work in a mobile context ...*" [4].

Successivamente l'attenzione viene posta sulla trasformazione del processo d'apprendimento in un'esperienza fruibile in qualsiasi momento e in qualsiasi luogo "... *m-learning is the point at which mobile computing and e-learning intersect to produce an anytime, anywhere learning experience ...*" [5 pag. 184], evidenziando la necessità di pensare a un continuum dell'apprendimento attraverso diversi contesti e scenari "... *seamless learning spaces and marked by continuity of the learning experience across different scenarios or contexts, and emerging from the availability of one device or more per student ...*" [6 pag. 154].

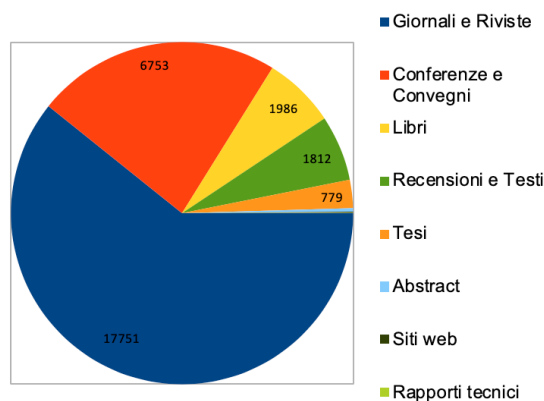
Il presente articolo è suddiviso in quattro sezioni. La sezione 1 è "l'Introduzione". Nella sezione 2, "Metodi", vengono elencati i risultati della ricerca bibliografica sul *mobile learning* al 31 dicembre 2016, condotta nella letteratura scientifica nazionale e internazionale. Partendo dai risultati di questa ricerca, nella sezione 3 "Risultati", sono state analizzate alcune opere di revisione della letteratura, raggruppando le conclusioni emerse in sei categorie e comparandole con le conclusioni di altre pubblicazioni che trattavano le stesse tematiche in un'ottica *mobile*. I contenuti individuati nella sezione precedente, sono stati integrati nella sezione 4 "Discussioni e Conclusioni" con alcune considerazioni personali dell'autore, in modo da comprendere i fattori che possono influenzare la decisione di adottare il *mobile learning* da parte di docenti e discenti.

## 2. Metodi

Relativamente alla ricerca bibliografica, sono stati presi in considerazione gli articoli accessibili tramite la piattaforma One Search, integrando i risultati ottenuti con ricerche mirate effettuate presso *database* specifici quali ACM DL, ERIC, IEEE Xplore, SBN e Scopus. Sono state utilizzate le *keyword* "mobile learning" e "m-learning", affinando la ricerca con "mobile course" e "mobile model"; la stessa pubblicazione elencata in piattaforme diverse è stata conteggiata una sola volta.

|             | Giornali e Riviste | Conferenze e Convegni | Libri       | Recensioni e Testi | Tesi       | Abstract  | Siti web  | Rapporti tecnici | Altro    | Tot.         |
|-------------|--------------------|-----------------------|-------------|--------------------|------------|-----------|-----------|------------------|----------|--------------|
| ONE SEARCH  | 15250              | 2203                  | 1652        | 1571               | 748        | 95        | 21        | 14               | 2        | 21556        |
| ACMDL       | 24                 | 240                   |             |                    |            |           |           |                  |          | 264          |
| ERIC        | 766                | 130                   | 24          | 20                 | 31         |           |           |                  |          | 971          |
| IEEE        | 48                 | 1472                  |             |                    |            |           |           |                  | 1        | 1521         |
| SCOPUS      | 1663               | 2703                  | 298         | 220                |            | 1         |           |                  | 3        | 4888         |
| OPAC SBN    |                    | 5                     | 12          | 1                  |            |           |           |                  |          | 18           |
| <b>Tot.</b> | <b>17751</b>       | <b>6753</b>           | <b>1986</b> | <b>1812</b>        | <b>779</b> | <b>96</b> | <b>21</b> | <b>14</b>        | <b>6</b> | <b>29218</b> |

**Tabella 1**  
Pubblicazioni sul "mobile learning" per tipologia



**Grafico 1**  
Pubblicazioni sul "mobile learning" per tipologia

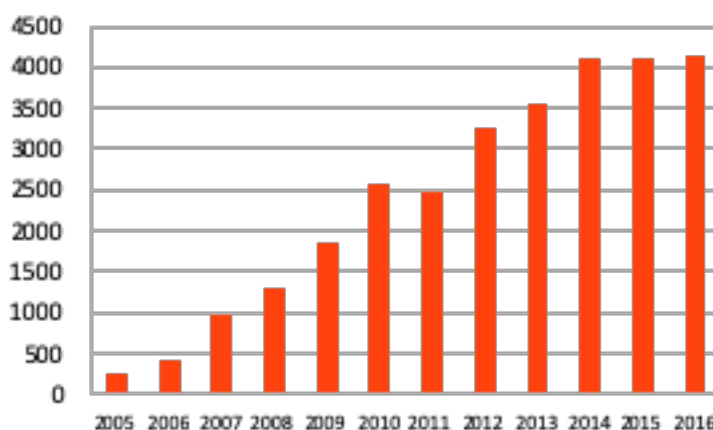
Dall'analisi dei dati disponibili presso i *database* bibliografici elencati in precedenza sono emersi 29218 risultati, a testimonianza dell'importanza assegnata all'apprendimento in mobilità da parte della comunità scientifica (tabella 1). Un'elevata percentuale di contenuti (grafico 1) è relativa alla

pubblicazione di articoli su giornali tematici o riviste specializzate (17751 su 29218, il 61%) e alla pubblicazione di atti relativi a conferenze e convegni (6753 su 29218, il 23%). A seguire la pubblicazione di libri (1986 su 29218, il 7%), recensioni (1812 su 29218, il 6%) e tesi (779 su 29218, il 3%).

Partendo dai dati illustrati nella tabella 1 e ordinando i risultati in base alla data di pubblicazione (tabella 2), è emerso come l'interesse per l'apprendimento in mobilità sia cresciuto costantemente nel tempo salvo avere un piccolo rallentamento negli ultimi due anni (grafico 2).

|             | < 2005     | 2005       | 2006       | 2007       | 2008        | 2009        | 2010        | 2011        | 2012        | 2013        | 2014        | 2015        | 2016        | Tot          |
|-------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| ONE SEARCH  | 50         | 132        | 232        | 714        | 905         | 1401        | 1884        | 1836        | 2433        | 2713        | 3097        | 3060        | 3099        | 21556        |
| ACMDL       | 6          | 3          | 9          | 11         | 21          | 19          | 25          | 23          | 24          | 31          | 31          | 27          | 34          | 264          |
| ERIC        | 23         | 10         | 7          | 30         | 41          | 47          | 71          | 59          | 78          | 147         | 157         | 143         | 158         | 971          |
| IEEE        | 37         | 38         | 48         | 53         | 83          | 80          | 144         | 113         | 166         | 126         | 179         | 242         | 212         | 1521         |
| SCOPUS      | 74         | 84         | 111        | 167        | 238         | 323         | 443         | 444         | 553         | 520         | 651         | 632         | 648         | 4888         |
| OPAC SBN    | 1          | 1          | 1          |            | 1           | 1           | 3           |             | 4           | 3           | 2           | 1           |             | 18           |
| <b>Tot.</b> | <b>191</b> | <b>268</b> | <b>408</b> | <b>975</b> | <b>1289</b> | <b>1871</b> | <b>2570</b> | <b>2475</b> | <b>3258</b> | <b>3540</b> | <b>4117</b> | <b>4105</b> | <b>4151</b> | <b>29218</b> |

**Tabella 2**  
*Pubblicazioni sul "mobile learning" per anno*

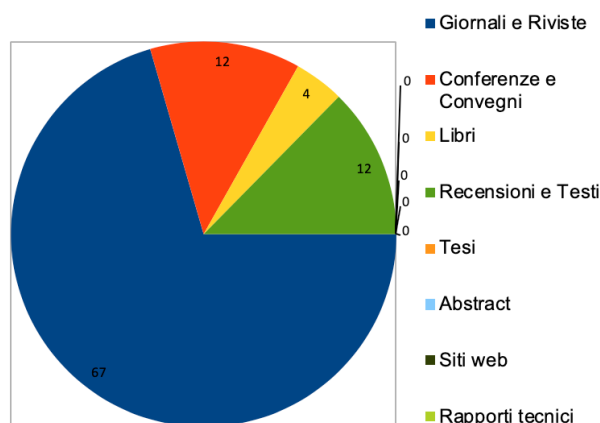


**Grafico 2**  
*Pubblicazioni sul "mobile learning" per anno*

Affinando la ricerca è stata utilizzata la *keyword* "mobile course". I risultati ottenuti sono stati 95 (tabella 3); di questi, i due terzi si riferiscono a pubblicazioni su giornali e riviste (grafico 3).

|             | Giornali e Riviste | Conferenze e Convegni | Libri    | Recensioni e Testi | Tot.      |
|-------------|--------------------|-----------------------|----------|--------------------|-----------|
| ONE SEARCH  | 59                 | 4                     | 4        | 12                 | 79        |
| ACMDL       |                    | 1                     |          |                    | 1         |
| ERIC        | 7                  |                       |          |                    | 7         |
| IEEE        |                    | 3                     |          |                    | 3         |
| SCOPUS      | 1                  | 3                     |          |                    | 4         |
| OPAC SBN    |                    | 1                     |          |                    | 1         |
| <b>Tot.</b> | <b>67</b>          | <b>12</b>             | <b>4</b> | <b>12</b>          | <b>95</b> |

**Tabella 3**  
*Pubblicazioni sul "mobile learning" & "mobile course" per tipologia*



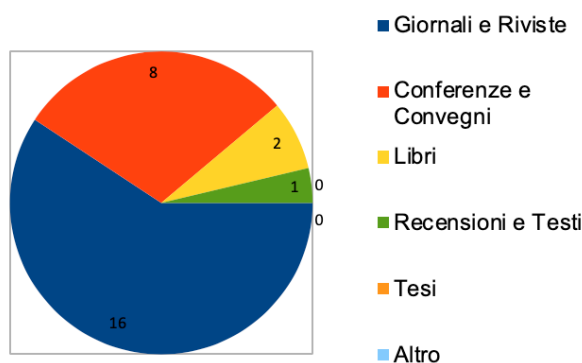
**Grafico 3**  
*Pubblicazioni sul "mobile learning" & "mobile course" per tipologia*

Analizzando i 95 contributi elencati in tabella 3 è emerso che l'interesse predominante dei relatori è rivolto all'aspetto tecnologico: sistemi di *cloud* e *repository*, sviluppo di App, realtà aumentata, piattaforme per il *mobile learning*, reti di *smartphone*, sistemi di gestione *mobile*, sistemi di valutazione. Fanno eccezione alcuni lavori che si orientano verso un ambito più psicologico: valutazione del comportamento degli studenti, analisi dell'accessibilità, rapporto *designer/educatori* didattici, comparazione delle modalità di accesso ai corsi, analisi delle emozioni dei discenti. Altri ricercatori, infine, si sono rivolti all'ambito della progettazione di specifici contenuti per il *mobile (micro learning)* e allo sviluppo di metodologie per le *best practices* aziendali.

Affinando ulteriormente la ricerca è stata utilizzata la keyword "*mobile model*". I risultati ottenuti sono stati 27 (tabella 4); di questi i due terzi si riferiscono a pubblicazioni su giornali e riviste, seguite da conferenze e convegni (grafico 4).

|            | Giornali e Riviste | Conferenze e Convegni | Libri | Recensioni e Testi | Tot. |
|------------|--------------------|-----------------------|-------|--------------------|------|
| ONE SEARCH | 6                  | 2                     | 2     | 1                  | 11   |
| ACMDL      |                    |                       |       |                    |      |
| ERIC       | 10                 | 1                     |       |                    | 11   |
| IEEE       |                    | 4                     |       |                    | 4    |
| SCOPUS     |                    | 1                     |       |                    | 1    |
| OPAC SBN   |                    |                       |       |                    |      |
| Tot.       | 16                 | 8                     | 2     | 1                  | 27   |

**Tabella 4**  
Pubblicazioni sul "mobile learning" – "mobile model" per tipologia



**Grafico 4**  
Pubblicazioni sul "mobile learning" – "mobile model" per tipologia

### 3. Risultati

Considerando i risultati elencati in tabella 3, sono state analizzate due opere di revisione della letteratura pubblicate dalla *British Educational Communications and Technology Agency* [7] [8] e un'opera pubblicata dalla *Education Endowment Foundation* [9]; tali opere vengono considerate come un'importante attività di sintesi sul tema delle ICT [10] [11] [12] [13]. Le conclusioni emerse in tali opere sono state raggruppate dall'autore in sei categorie e comparate con le conclusioni di altre pubblicazioni che trattavano le stesse tematiche in un'ottica *mobile*.

#### Contesto

Il contesto formale nel quale ha luogo l'apprendimento mediato dalla tecnologia è certamente importante, così come lo è il contesto non istituzionale: l'accesso alle risorse ICT in ambiente domestico permette agli studenti di continuare a casa l'attività didattica. Numerosi studi sperimentali hanno evidenziato un effetto

positivo sull'apprendimento in quei contesti educativi in cui gli utilizzi delle risorse ICT erano stati correlati agli obiettivi didattici di uno specifico insegnamento [7].

Il contesto è una delle dimensioni fondamentali dell'apprendimento in mobilità in quanto non solo coinvolge le dimensioni del "tempo" e del "luogo", ma include anche gli obiettivi e le motivazioni dello studente, le risorse circostanti, le dinamiche d'apprendimento; la potenza educativa di un dispositivo *mobile* è data proprio dalla portabilità, dall'interazione sociale e dalla sensibilità al contesto [14]. Accedere alle informazioni indipendentemente dal tempo e dal luogo incrementa i risultati formativi ottenuti grazie all'apprendimento in mobilità e porta i ricercatori a sviluppare nuove strategie per i processi d'insegnamento [15]. L'obiettivo primario del *mobile learning* dovrebbe essere quello di aumentare la "qualità" e la "portata" dell'apprendimento individuale secondo il paradigma del "sempre" e "ovunque". Per questo non dovrebbe essere semplicemente valutato misurando i guadagni d'apprendimento teorizzati: i benefici derivano anche dal consentire alle persone di gestire le proprie vite in maniera molto più efficace.

### Obiettivi

In alcuni studi di ricerca c'è stata una discrepanza tra le metodologie usate per misurare i guadagni attesi e la natura dell'apprendimento che viene favorita dalla tecnologia. In altre parole i ricercatori hanno misurato le cose "sbagliate", cercando miglioramenti nei processi tradizionali invece di cercare nuove conoscenze che emergono dall'uso delle ICT [7]. La crescente varietà di tecnologie digitali e la diversità dei contesti in cui vengono condotte le ricerche, combinate con le "sfide alla sintesi" delle evidenze provenienti da metodologie diverse, rendono difficile individuare implicazioni chiare e specifiche per la pratica educativa nelle istituzioni didattiche [9].

L'incremento nell'uso dei dispositivi mobili nel mondo dell'istruzione, ha portato a un incremento analogo nel campo della ricerca sull'educazione *mobile* [16]. Secondo uno studio pubblicato nel 2012, il principale obiettivo delle ricerche sull'apprendimento in mobilità si concentra sulla valutazione dell'efficacia didattica del *mobile learning*, seguita dalla progettazione di sistemi per l'apprendimento *mobile*. I metodi di ricerca maggiormente utilizzati sono le indagini scientifiche e la ricerca sperimentale, mentre i dispositivi usati più frequentemente sono gli *smartphone* e i *tablet*. Il numero di studi dedicati al *design* di sistemi per l'apprendimento *mobile* è aumentato nel tempo, grazie al rapido sviluppo tecnologico combinato con la volontà dei ricercatori di provare nuove tecnologie per l'implementazione di sistemi d'apprendimento in mobilità [17].

### Approccio pedagogico

Le ICT possono avere un impatto importante sull'apprendimento solo se i docenti comprendono che l'interattività necessita di un nuovo approccio pedagogico. Devono utilizzare strategie reattive e proattive per guidare, facilitare e sostenere l'apprendimento. Devono monitorare i progressi dei discenti mantenendo un focus sull'apprendimento, strutturando le attività e fornendo compiti didattici mirati [8]. I principali approcci pedagogici utilizzati dai

docenti sono tre: *integrated approach*, *enhancement approach* e *complementary approach*. Tali approcci necessitano di una conoscenza approfondita delle ICT da parte del docente, il quale deve essere in grado di adattare l'utilizzo di una risorsa alla propria pedagogia o di estendere le proprie conoscenze pedagogiche accogliendo efficacemente le ICT nel proprio insegnamento [8]. Le strategie didattiche utilizzate dal docente sono fondamentali per raggiungere dei buoni risultati d'apprendimento mediante le tecnologie dell'informazione [7] [8] [9].

Grazie ai recenti sviluppi nelle tecnologie della comunicazione, i dispositivi mobili sono diventati molto più convenienti e disponibili rispetto a un recente passato. Le caratteristiche distintive di questi oggetti sono: interfacce personalizzabili, accesso alle informazioni in tempo reale, sensibilità al contesto, comunicazione istantanea e *feedback*. Queste caratteristiche migliorano gli effetti di alcuni approcci pedagogici, come il *self-directed learning*, l'*inquiry learning* e il *formative assessment*. Tuttavia tali caratteristiche non sono sufficienti per migliorare l'apprendimento in quanto quest'ultimo implica una sinergia fra docenti, studenti e contenuti progettati [18] che necessiterà di un periodo di prova iterativo e ricorsivo in grado di determinare la procedura ottimale per ottenere gli effetti migliori [19]. I ricercatori dovrebbero prevedere tempi d'intervento diversi sulla base dei metodi d'insegnamento da sviluppare con i dispositivi mobili, integrando le caratteristiche tecnologiche di questi strumenti con le strategie didattiche attuate dal docente [20]. Solo in questo modo sarà possibile abbinare la risoluzione di specifiche sfide pedagogiche con le caratteristiche uniche dei dispositivi mobili [21].

### Progettazione didattica

Le ICT possono avere un effetto positivo sull'apprendimento solo se la tecnologia è in grado di supportare gli approcci pedagogici utilizzati dal docente. L'uso efficace delle ICT non significa assenza di un *framework* didattico: un utilizzo efficace si basa sulla "progettazione" in modo che gli studenti possano sviluppare le proprie rappresentazioni significative della conoscenza usando le ICT. I docenti che hanno una conoscenza limitata del contributo che le ICT possono dare all'apprendimento, generalmente assumono che i compiti principali siano di familiarizzare con un *software* oppure di preparare una lezione incentrata sull'utilizzo di un particolare programma. In realtà l'utilizzo efficace delle ICT è legato alla figura del docente, che dovrebbe assumere un ruolo di *leadership* nella progettazione, nella preparazione e nel *follow-up* delle lezioni [8].

Una meta-analisi pubblicata nel 2016 evidenzia come l'utilizzo dei dispositivi mobili e del *software* educativo siano in generale più efficaci quando i docenti progettano l'esperienza d'apprendimento in modo da abbinare la tecnologia utilizzata con gli obiettivi che si vogliono raggiungere attraverso l'esperienza educativa [19]. I dispositivi mobili visti come ausili per l'apprendimento, se da una parte rafforzano l'impegno individuale (fornendo un accesso immediato alle informazioni e un apprendimento potenziato) dall'altra si rivelano come gli strumenti più adatti per imparare solo quando l'istruzione viene attentamente progettata per fare un uso ottimale della tecnologia [22].

## Ambiti disciplinari

Il numero di ricerche condotte in ambito scientifico e linguistico, relative alle strategie d'apprendimento degli studenti, è notevolmente superiore rispetto alle stesse ricerche condotte in altri ambiti disciplinari. Di conseguenza anche la maggior parte dei risultati di ricerca disponibili in letteratura, che indagano sul legame fra specifici utilizzi delle ICT e obiettivi formativi, sono relativi a questi settori. In particolare i risultati ottenuti si riferiscono all'uso di simulazioni in ambito scientifico, all'utilizzo di ambienti di modellazione, all'utilizzo di *software* in grado di sviluppare le abilità di presentazione degli studenti, all'elaborazione di testi per l'alfabetizzazione della lingua inglese. L'evidenza positiva in queste aree non implica risultati simili in altri ambiti disciplinari [7] [8] [9].

La maggior parte delle ricerche in materia d'apprendimento in mobilità, evidenziano un uso più frequente a sostegno delle materie professionali e delle scienze applicate, seguito dalle discipline umanistiche e dalle scienze formali. In particolare per i corsi d'informatica, lingua, scienze ambientali, ma molto meno per statistica e diritto [16] [17]. Esistono diversi aspetti che evidenziano il potenziale del *mobile learning* nel campo dell'educazione scientifica: gran parte dell'attività didattica si svolge in un determinato contesto ambientale, alcuni contenuti scientifici sono impossibili da vedere ad occhio nudo, altri richiedono visualizzazioni grafiche per consentire agli studenti di comprenderli pienamente. Questi aspetti si allineano con la mobilità dei nuovi dispositivi e con la loro capacità di visualizzare simulazioni tridimensionali interattive [23]. Altri studi evidenziano come l'utilizzo dei dispositivi mobili per l'apprendimento sia più comune negli istituti d'istruzione superiore rispetto alle scuole elementari [16] e che tale utilizzo sia cresciuto in modo esponenziale dal 2006 al 2010 [17].

## Modalità di utilizzo

Un utilizzo pedagogico e collaborativo delle risorse ICT è solitamente più efficace rispetto a un utilizzo individuale sebbene alcuni soggetti, specialmente i bambini più piccoli, possano aver bisogno di un supporto per collaborare in modo efficace [9]. Evidenze sperimentali mostrano come i discenti che lavorano in gruppo e utilizzano le risorse ICT per fornire spiegazioni sugli argomenti trattati a lezione e approfonditi in gruppo, migliorano il proprio livello d'apprendimento [8]. L'uso didattico della tecnologia può essere particolarmente efficace per gli studenti con risultati d'apprendimento inferiori alle attese e per quelli con bisogni educativi speciali, in quanto possono fornire un supporto intensivo che permetta loro di raggiungere i livelli d'apprendimento dei loro coetanei [9]. Se gli studenti vengono messi a lavorare in piccoli gruppi ma non vengono progettate delle attività d'apprendimento che prevedano l'utilizzo della tecnologia, non si ottiene nessun beneficio aggiuntivo per l'apprendimento [7].

Dal punto di vista dell'innovazione nell'istruzione tramite ICT, il *mobile learning* permette agli educatori di connettersi con gli studenti a un livello molto più personale, avvalendosi proprio di quei dispositivi che loro stessi utilizzano con quotidiana regolarità [24]; permette ai docenti di progettare un apprendimento personalizzato e personalizzabile [25]; permette d'insegnare senza limiti di

tempo e luogo [26]. Non solo è in grado di supportare l'insegnamento tradizionale, ma può anche promuovere metodi didattici innovativi come l'apprendimento esplorativo fuori dall'aula [27], l'apprendimento cooperativo [28], l'apprendimento collaborativo supportato da dispositivi mobili [29] e l'apprendimento basato sul gioco [30]. Questi metodi possono aiutare i discenti nell'apprendimento dei contenuti di una determinata materia facilitando lo sviluppo della comunicazione, della creatività, del *problem solving* [31]. Per valutare l'impatto reale dei programmi d'apprendimento in mobilità è necessario prevedere dei tempi d'utilizzo sufficientemente lunghi: tempistiche brevi e limitate difficilmente possono essere in grado di dimostrare che gli effetti sull'apprendimento vengano prodotti proprio dalle caratteristiche dell'istruzione integrata con il *mobile*, piuttosto che dall'esperienza vissuta e legata alla novità tecnologica [19].

#### 4. Discussioni e conclusioni

L'acquisizione della conoscenza è l'obiettivo primario di un intervento formativo, sia che venga realizzato in aula, sia che preveda una formazione a distanza.

Nonostante il fatto che i dispositivi mobili abbiano assunto un ruolo centrale nella vita moderna, i ricercatori hanno una conoscenza limitata dei fattori che influenzano l'intenzione di adottare il *mobile learning* da parte di educatori e studenti. L'uso della tecnologia *mobile* dipende in gran parte dal fatto che docenti e discenti siano convinti che tali risorse soddisfino le loro particolari esigenze [32]. La maggior parte delle ricerche sperimentali sull'apprendimento in mobilità si sono concentrate sull'adozione del *mobile* da parte degli studenti, mentre i fattori che possono influenzare la volontà degli educatori sono stati in gran parte tralasciati dai ricercatori [33].

La decisione di adottare il *mobile learning* è un processo complesso influenzato da diversi fattori.

Uno di questi fattori, che ha ricevuto scarsa attenzione da parte dei ricercatori, è il ruolo dell'esperienza utente. L'esperienza acquisita è la quantità di tempo impiegata da un soggetto per iniziare a lavorare con quella particolare risorsa tecnologica che ha imparato ad usare [34].

E' una delle variabili che permettono di misurare l'efficienza delle ICT e viene costantemente riportata in letteratura come una relazione positiva con le proprie convinzioni di auto-efficacia [35]. L'esperienza acquisita da un utente che interagisce con una risorsa *mobile*, oltre ad essere un fattore determinante per l'adozione futura di tale tecnologia [36], influenza anche la percezione soggettiva legata all'utilità dell'apprendimento *mobile*: viene percepito uno sforzo minore per apprendere e una maggiore facilità nell'utilizzare gli strumenti per il *mobile learning* [32] [37] [38]. Soggetti con un'esperienza minore hanno un'aspettativa di sforzo più significativa, che influenza negativamente la futura adozione delle risorse ICT [39].

Un secondo fattore è l'ansia legata all'uso della tecnologia (*ICT anxiety*). L'ansia tecnologica è una risposta emotiva che di solito deriva dalla paura che l'uso di

una risorsa possa avere un esito negativo, come causare dei danni tecnologici o far fare all'oratore la figura dell'imbranato [40].

La semplice prospettiva di dover utilizzare una risorsa ICT può generare negli educatori livelli elevati d'ansia [40], che a sua volta può influenzare negativamente la percezione soggettiva legata alla facilità d'uso e di conseguenza la futura scelta d'introdurre nuove tecnologie nei propri insegnamenti [41] [42]. La percezione che esista una differenza fra la propria competenza tecnologica e la quantità di formazione necessaria per utilizzare una risorsa durante la lezione potrebbe essere considerata minacciosa e travolgente, soprattutto se viene percepito che le abilità tecnologiche degli studenti sono migliori delle proprie [43]. Ricerche simili sono state condotte anche dalla prospettiva degli studenti, facendo emergere risultati analoghi. Il precedente fallimento di un'attività didattica genera nel discente una forte sensazione d'ansia quando si trova a svolgere un compito equivalente [35], che a sua volta può influenzare negativamente l'adozione della tecnologia come supporto all'apprendimento [40] [44].

Un terzo fattore è l'alfabetizzazione tecnologica (*ICT literacy*). L'alfabetizzazione tecnologica misura la capacità di un individuo di utilizzare la tecnologia digitale, gli strumenti di comunicazione e/o le reti per accedere, gestire e integrare le risorse digitali [45].

La percezione soggettiva dell'alfabetizzazione tecnologica viene costantemente riportata in letteratura come una relazione positiva associata all'adozione di nuove tecnologie [35]. Al pari dell'esperienza pregressa legata all'uso di dispositivi mobili, anch'essa gioca un ruolo importante nell'utilità percepita dell'apprendimento *mobile* [37]. I soggetti che possiedono un'alfabetizzazione tecnologica elevata sono più propensi a considerare che l'apprendimento *mobile* sia più facile da usare e che richieda uno sforzo formativo limitato, viceversa l'aspettativa di sforzo è più significativa in quei soggetti con livelli inferiori di *ICT literacy* [39].

La tecnologia utilizzata per il *mobile learning* offre agli educatori l'opportunità di re-immaginare le attività formative, promuove l'accessibilità e la flessibilità dell'apprendimento, permette agli studenti di beneficiare dell'interattività sociale e di un processo d'apprendimento connettivo. Questi aspetti favoriscono le loro prestazioni e garantiscono una maggiore soddisfazione per l'apprendimento dei contenuti [46]. Ciò porta a considerare un modello d'apprendimento molto flessibile, che consente di accedere a più fonti d'informazione, passando da una struttura d'apprendimento basata sull'autorità del docente a una basata sul concetto di comunità di discenti [47]. Poiché gli educatori considerano i modi migliori per utilizzare la mobilità per promuovere l'apprendimento, è importante esaminare sia le strategie dell'apprendimento *mobile* e dell'apprendimento collaborativo, sia i modi migliori per combinare le due strategie e creare delle esperienze d'apprendimento più efficaci [48].

Le conclusioni di alcune ricerche sperimentali hanno evidenziato risultati per certi versi contrapposti. A un'esperienza negativa per gli studenti legata alle

difficoltà nell'utilizzo degli strumenti scelti [49] o alla distrazione prodotta dal *multitasking* sui dispositivi [50] [51], si contrappone una percezione positiva legata all'utilizzo della tecnologia *mobile* per l'apprendimento collaborativo [52] che facilita il processo d'apprendimento in mobilità [53] rendendo il *mobile learning* altamente motivante per i discenti [29] [54].

Questo non significa che non valga la pena d'investire nell'utilizzo delle ICT per migliorare l'apprendimento, significa soltanto che i formatori dovrebbero essere cauti di fronte a un potenziale utilizzo della tecnologia per fini didattici. Ogni azione educativa che preveda l'utilizzo delle ICT dovrebbe essere valutata attentamente.

## Bibliografia

- [1] Eppard, J., Nasser, O. & Reddy, P. (2016), "The next generation of technology: Mobile apps in the English language classroom", *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 11(4), 21–27
- [2] Khaddage, F., Muller, W. & Flintoff, K. (2016), "Advancing mobile learning in formal and informal settings via mobile app technology: Where to from here, and how?", *Educational Technology & Society*, 19(3), 16–26
- [3] Hoppe, H. U., Joiner, R., Millard, M. & Sharples, M. (2003), "Guest editorial: wireless and mobile technologies in education", *Journal of Computer Assisted Learning*, 19(3), 255–259  
doi:10.1046/j.0266-4909.2003.00027.x
- [4] Denny, J. (2018), The Difference Between Mobile Learning And eLearning, *eLearning Industry*,  
<https://elearningindustry.com/difference-between-mobile-learning-and-elearning> (luglio 2018)
- [5] Pieri, M. & Diamantini, D. (2009), "From e-learning to mobile learning: new opportunities", *Mobile learning - Trasforming the delivery of education and training*, AU Press, Athabasca University
- [6] Looi, C-K., Seow, P., Zhang, B., So, H-J., Chen, W. & Wong, L-H. (2010), "Leveraging Mobile Technology for Sustainable Seamless Learning: A Research Agenda", *British Journal of Educational Technology*, 41(2), 154–169  
doi:10.1111/j.1467-8535.2008.00912.x
- [7] Cox, M., Webb, M., Abbott, C., Blakeley, B., Beauchamp, T. & Rhodes, V. (2003), "ICT and attainment A review of the research literature", *ICT in Schools Research and Evaluation Series – No.17*, British Educational Communications and Technology Agency
- [8] Cox, M., Abbott, C., Webb, M., Blakeley, B., Beauchamp, T. & Rhodes, V. (2003), "ICT and pedagogy A review of the research literature", *ICT in Schools Research and Evaluation Series – No.18*, British Educational Communications and Technology Agency
- [9] Higgins, S., Xiao, Z. & Katsipatakis, M. (2012), The Impact of Digital Technology on Learning: A Summary for the Education Endowment Foundation

[https://educationendowmentfoundation.org.uk/public/files/Publications/The\\_Impact\\_of\\_Digital\\_Technologies\\_on\\_Learning\\_\(2012\).pdf](https://educationendowmentfoundation.org.uk/public/files/Publications/The_Impact_of_Digital_Technologies_on_Learning_(2012).pdf) (luglio 2018)

[10] Glover, D., Miller, D., Averis, D. & Door, V. (2005), "The interactive whiteboard: a literature survey", *Technology Pedagogy and Education*, 14(2), 155-170

doi:10.1080/14759390500200199

[11] Sipilä, K. (2010), "The impact of laptop provision on teacher attitudes towards ICT", *Technology Pedagogy and Education*, 19 (1), 3-16

doi:10.1080/14759390903579257

[12] Ward, L. & Parr, J., M. (2010), "Revisiting and reframing use: Implications for the integration of ICT", *Computers & Education*, 54(1), 113-122

doi:10.1016/j.compedu.2009.07.011

[13] Parsons, S. & Cobb, S. (2014), "Reflections on the role of the 'users': challenges in a multi-disciplinary context of learner-centred design for children on the autism spectrum", *International Journal of Research & Method in Education*, 37(4), 421-441

doi:10.1080/1743727X.2014.890584

[14] Thüs, H., Chatti, M., A., Yalcin, E., Pallasch, C., Kyryliuk, B., Mageramov, T., Schroeder, U. (2012), "Mobile Learning in Context", *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 4(5/6), 332-344

doi:10.1504/IJTEL.2012.051818

[15] Uysal, M., P. & Gazibey, Y. (2010), Yamamoto, G., T., Demiray, U. & Kesim M. (Editions) *E-Learning in Turkey: Developments and applications*, Cem Web Ofset, Ankara

[16] Hwang, G-J. & Tsai, C-C. (2011), "Research trend in mobile and ubiquitous learning: a review of publications in selected journal from 2001 to 2010", *British Journal of Education Technology*, 42(4), E65-E70

[17] Wu, W., Wu, Y. J., Chen, C., Kao, H., Lin, C. & Huang, S. (2012), "Review of trends from mobile learning studies: A meta-analysis", *Computers in Education*, 59(2), 817-827

[18] Cheon, J., Lee, S., Crooks, S., M. & Song, J. (2012), "An investigation of mobile learning readiness in higher education based on the theory of planned behavior", *Computers & Education*, 59(3), 1054-1064

doi:10.1016/j.compedu.2012.04.015

[19] Sung, Y-T., Chang, K-E. & Liu, T-C. (2016), "The effects of integrating mobile devices with teaching and learning on students' learning performance: A meta-analysis and research synthesis", *Computers & Education*, 94, 252-275

doi:10.1016/j.compedu.2015.11.008

[20] Obonyo, C., Davis, N. & Fickel, L. (2018), "Mobile Learning Practices in Initial Teacher Education: Illustrations from Three Teacher Educators", *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, E. Langran & J. Borup (Eds.), 2424-2429

- [21] Lan, Y-J., Sung, Y-T., Cheng, C.-C. & Chang, K.-E. (2015), "Computer-supported cooperative prewriting for enhancing young EFL learners' writing performance", *Language Learning & Technology*, 19(2), 134–155
- [22] Cheng, P-H., Yang, Y-T., C., Chang, S-H., G. & Kuo, F-R., R. (2016), "5E Mobile inquiry learning approach for enhancing learning motivation and scientific inquiry ability of university students" *IEEE Transactions On Education*, 59(2), 147–153  
doi:10.1109/TE.2015.2467352
- [23] Mannheimer, Z., J. & Warner, Z. (2016), "Mobile apps for science learning: Review of research", *Computers & Education*. 94, 1–17  
doi:10.1016/j.compedu.2015.11.001
- [24] Ward, N., D., Finley, R.,J., Keil, R., G. & Clay, T., G. (2013), "Benefits and limitations of iPads in the high school science classroom and a trophic cascade lesson plan", *Journal of Geoscience Education*, 61(4), 378–384
- [25] Fleischer, H. (2012), "What is our current understanding of one-to-one computer projects: a systematic narrative research review", *Educational Research Review*, 7(2), 107–122  
doi:10.1016/j.edurev.2011.11.004
- [26] Huang, Y-M., Lin, Y-T. & Cheng, S-C. (2010), "Effectiveness of a mobile plant learning system in a science curriculum in Taiwanese elementary education" *Computers & Education*, 54(1), 47–58  
doi:10.1016/j.compedu.2009.07.006
- [27] Liu, T-C., Lin, Y-C., Tsai, M-J. & Paas, F. (2012), "Split-attention and redundancy effects in mobile learning in physical environments", *Computers & Education*, 58(1), 172–180  
doi:10.1016/j.compedu.2011.08.007
- [28] Roschelle, J., Rafanan, K., Bhanot, R., Estrella, G., Penuel, B., Nussbaum, M. & Claro, S. (2010), "Scaffolding group explanation and feedback with handheld technology: impact on students' mathematics learning", *Educational Technology Research and Development*, 58(4), 399–419  
doi:10.1007/s11423-009-9142-9
- [29] Hsu, Y-C. & Ching, Y-H. (2013), "Mobile computer-supported collaborative learning: a review of experimental research", *British Journal of Educational Technology*, 44(5), E111–E114  
doi:10.1111/bjet.12002
- [30] Klopfer, E., Sheldon, J., Perry, J. & Chen, V., H.-H. (2012), "Ubiquitous games for learning (UbiqGames): Weatherlings, a worked example", *Journal of Computer Assisted Learning*, 28, 465–476  
doi:10.1111/j.1365-2729.2011.00456.x
- [31] Hwang, G-J., Lai, C-L., Liang, J-C., Chu, H-C. & Tsai, C-C. (2018), "A long-term experiment to investigate the relationships between high school students'

perceptions of mobile learning and peer interaction and higher-order thinking tendencies", *Educational Technology Research and Development*, 66(1), 75–93

[32] Akour, H. (2009). *Determinants of mobile learning acceptance: an empirical investigation in higher education* (Ph.D.). Retrieved from ProQuest Dissertations & Theses database, Oklahoma State University (UMI No. AAT 3408682)

[33] Uzunboylu, H. & Ozdamli, F. (2011), "Teacher perception for m-learning: Scale development and teachers' perceptions", *Journal of Computer Assisted Learning*, 27, 544–556

doi:10.1111/j.1365-2729.2011.00415.x

[34] Paraskeva, F., Bouta, H. & Papagianni, A. (2008), "Individual characteristics and computer self-efficacy in secondary education teachers to integrate technology in educational practice", *Computers & Education*, 50(3), 1084–1091

doi:10.1016/j.compedu.2006.10.006

[35] Hasan, B. & Ahmed, M., U. (2010), "A path analysis of the impact of application-specific perceptions of computer self-efficacy and anxiety on technology acceptance", *Journal of Organizational and End User Computing*, 22(3), 82–95

doi:10.4018/joeuc.2010070105

[36] Saadé, R. G. & Kira, D. (2007), "Mediating the impact of technology usage on perceived ease of use by anxiety", *Computers & Education*, 49(4), 1189–1204

doi:10.1016/j.compedu.2006.01.009

[37] Theng, Y-L. (2009). *Mobile learning for tertiary students: an exploratory study of acceptance of use*. Paper presented at the EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology, Jun 22, 2009 in Honolulu, HI, USA ISBN 978-1-880094-73-0 Publisher: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), Waynesville, NC

[38] Wang, W-T. & Wang, C-C. (2009), "An empirical study of instructor adoption of web-based learning systems", *Computers & Education*, 53(3), 761–774

doi:10.1016/j.compedu.2009.02.021

[39] Venkatesh, V., Morris, M., G., Davis, G., B. & Davis, F., D. (2003), "User acceptance of information technology: Toward a unified view", *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 27(3), 425–478

[40] Barbeite, F., G. & Weiss, E., M. (2004), "Computer self-efficacy and anxiety scales for an Internet sample: Testing measurement equivalence of existing measures and development of new scales", *Computers in Human Behavior*, 20(1), 1–15

doi:10.1016/S0747-5632(03)00049-9

[41] Parayitam, S., Desai, K., J., Desai, M., S. & Eason, M., K. (2010), "Computer attitude as a moderator in the relationship between computer anxiety, satisfaction, and stress", *Computers in Human Behavior*, 26(3), 345–352

doi:10.1016/j.chb.2009.11.005

- [42] Rahimi, M. & Yadollahi, S. (2011), "Computer anxiety and ICT integration in English classes among Iranian EFL teachers", *Procedia Computer Science*, 3, 203–209  
doi:10.1016/j.procs.2010.12.034
- [43] Jeffrey, L., Hegarty, B., Kelly, O., Penman, M., Coburn, D. & McDonald, J. (2011), "Developing digital information literacy in higher education: Obstacles and supports", *Journal of Information Technology Education: Research*, 10, 383–413  
doi:10.28945/1532
- [44] van Raaij, E., M. & Schepers, J., J., L. (2008), "The acceptance and use of a virtual learning environment in China", *Computers and Education*, 50(3), 838–852  
doi:10.1016/j.compedu.2006.09.001
- [45] Markauskaite, L. (2007), "Exploring the structure of trainee teachers' ICT literacy: The main components of, and relationships between, general cognitive and technical capabilities", *Educational Technology Research and Development*, 55(6), 547–572  
doi:10.1007/s11423-007-9043-8
- [46] Efstathiou, I., Kyza, E., A. & Georgiou, Y. (2018), "An inquiry-based augmented reality mobile learning approach to fostering primary school students' historical reasoning in non-formal settings", *Interactive Learning Environments*, 26(1), 22–41  
doi:10.1080/10494820.2016.1276076
- [47] Hamm, S., Saltsman, G., Jones, B., Baldrige, S. & Perkins, S. (2013), "A mobile pedagogy approach for transforming learners and faculty", *Handbook of mobile education*, Zane Berge, Lin Muilenburg (Eds.), Routledge, New York, NY
- [48] Heflin, H., Shewmaker, J. & Nguyen, J. (2017), "Impact of mobile technology on student attitudes, engagement, and learning" *Computer & Education*, 107, 91–99
- [49] Ting, Y-L. (2012), "The pitfalls of mobile devices in learning: A different view and implications for pedagogical design", *Journal of Educational Computing Research*, 46(2), 119–134
- [50] Dietz, S. & Henrich, C. (2014), "Texting as a distraction to learning in college students", *Computers in Human Behavior*, 36, 163–167  
doi:10.1016/j.chb.2014.03.045
- [51] Bellur, S., Nowak, K., L. & Hull, K., S. (2015), "Make it our time: In class multitaskers have lower academic performance", *Computers in Human Behavior*, 53, 63–70  
doi:10.1016/j.chb.2015.06.027
- [52] Chang, J-H., Chiu, P-S. & Huang, Y-M. (2018), "A Sharing Mind Map-oriented Approach to Enhance Collaborative Mobile Learning With Digital Archiving Systems", *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 19(1), 1–24  
doi:10.19173/irrodl.v19i1.3168

[53] Fraga, M., L. (2018), "Mobile Learning in Higher Education", Handbook of Research on Mobile Technology, Constructivism, and Meaningful Learning, 123–146  
doi:10.4018/978-1-5225-3949-0.ch007

[54] Hwang, G-J. & Wu, P-H. (2014), "Applications, impacts and trends of mobile technology-enhanced learning: a review of 2008–2012 publications in selected SSCI journals", *International Journal of Mobile Learning and Organization*, 8(2), 83–95

doi:10.1504/IJMLO.2014.062346

## Sitografia

One Search: <http://onesearch.sbart.eu> (ultimo accesso luglio 2018)

ACM DL <http://dl.acm.org> (ultimo accesso luglio 2018)

ERIC <https://eric.ed.gov> (ultimo accesso luglio 2018)

IEEE XPLORE <http://ieeexplore.ieee.org> (ultimo accesso luglio 2018)

SBN <http://www.sbn.it> (ultimo accesso luglio 2018)

SCOPUS <https://www.scopus.com/> (ultimo accesso luglio 2018)

## Biografia

**Antonio Giardi** è un tecnico della ricerca presso l'Università di Siena - Dipartimento di Scienze Sociali Politiche e Cognitive. Ha ultimato il dottorato di ricerca in "Informatica Sistemi e Telecomunicazioni" presso l'Università di Firenze. Si interessa di comunicazione, produzione video e progettazione di contenuti per il Mobile Learning. E' cultore della materia nel S.S.D. ING-INF/05 per il corso di "Comunicazione Digitale" all'Università di Siena. E' responsabile tecnico del Multimedia Communication Laboratory dell'Università di Siena.

E-mail: [antonio.giardi@unisi.it](mailto:antonio.giardi@unisi.it)

# Per un Museo del Codice Sorgente

S. Penge

## Sommario

*Codexpo è il primo Museo del Codice Sorgente, quel testo magico che vive dentro computer e cellulari, controlla i satelliti e fa funzionare il Web. Un testo scritto in linguaggi diversi, da persone diverse, con stili diversi.*

*Codexpo non è un museo dell'hardware, ma del software. Inoltre, non mira a raccogliere e esibire i programmi già pronti all'esecuzione, bensì i programmi nel loro stato originale.*

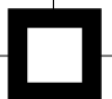
*Un museo che per la prima volta mostra l'anima nascosta dei computer: il codice sorgente.*

## Abstract

*Codexpo is the first Museum fully dedicated to the Source Code, the magical text that lives inside computers and mobile phones, that controls satellites and makes the Web work. A text written in one from many different languages, by different authors and with different styles.*

*Codexpo is not an hardware museum, it is about software. Moreover, it doesn't aim to collect and show ready-to-run programs, but rather programs in their original state. A museum that for the first time shows the hidden soul of computers: the source code.*

**Keywords:** Source code, Museum, Programming languages, Digital humanities, Open source, Linguistics, Critical code



## 1. Introduzione

Siamo tutti abituati a usare in maniera trasparente i computer e i programmi che li fanno funzionare; così finiamo per dare per scontato che i computer si comportino sempre in un certo modo, e che la colpa – o il merito – di questi comportamenti siano della macchina. Raramente pensiamo che dietro ogni programma ci sia un *codice sorgente*, e che questo codice sia *stato scritto da qualcuno, in qualche momento, per un certo scopo*.

Mostrare, spiegare, raccontare la storia di questo tipo particolare di testo servirebbe allora a renderci più consapevoli dei processi di scrittura e lettura che ci sono dietro, a restituire valore all'opera creativa – e alla responsabilità – dell'uomo che li ha creati [1].

Programmare non è mettere in sequenza 0 e 1, ma *raccontare una storia, inventare attori e scenari, immaginare finali alternativi*. Certo vanno usati strumenti formali adeguati – i linguaggi di programmazione, che vanno appresi seriamente e praticati per anni – ma ciò che è importante è la visione che lega le parti con il tutto in una narrazione coerente e convincente. Senza questa visione, si rischia di limitarsi a copiare e incollare frammenti di codice altrui.

E senza una comprensione dell'importanza di questa parte creativa del lavoro di chi scrive codice si rischia di fraintendere la complessità della professione del programmatore e di ridurre l'attrattiva per i giovani. Peggio ancora, si rischia di crescere una generazione di cattivi programmatori da batteria, seguaci del metodo copia-e-incolla, capaci solo di allineare righe di codice senza farsi domande.

Ma che si voglia intraprendere un percorso professionale da sviluppatore di codice oppure limitarsi ad usare dispositivi digitali in maniera attiva e non passiva, la consapevolezza della storia, delle scelte, delle sfide, delle differenze che costituiscono la sostanza di questo oggetto culturale così importante è oggi fondamentale per tutti.

Dalla constatazione di queste esigenze nasce il progetto dell'associazione di promozione sociale Codexpo.org.

In estrema sintesi, noi pensiamo che:

1. Il codice sorgente sia una parte importante della cultura della fine del secondo millennio e presumibilmente di tutto quello appena iniziato. Per questo va raccolto, conservato, selezionato ed esposto [2]

2. Progettare e realizzare codice sorgente sia un'attività umana piuttosto nuova, ma che assomigli alle altre attività di scrittura di testi che pratichiamo da millenni. Per questo va studiata, capita e insegnata

3. Contro chi agita lo spauracchio degli 'algoritmi padroni' e della 'cattiva intelligenza artificiale', occorra costruire un umanesimo e un rinascimento digitali. Per questo proponiamo di ripartire dall'umano: quello che sta dietro e intorno alle macchine.

## 2. Il progetto

Codexpo.org (<http://codexpo.org>) è il nome di un'Associazione di Promozione Sociale che ha come missione principale quella di costruire il primo museo non dell'hardware, ma del software. Un museo che per la prima volta porta alla luce l'anima nascosta dei computer: il codice sorgente. Un museo reale, fisico, in cui il visitatore possa toccare con mano il codice sorgente – accompagnato da un'anteprima su web, che serva a preparare alla visita e a diffondere il progetto stesso.

Un museo della *letteratura digitale*, cioè dei programmi nel loro stato originale. Il termine "letteratura digitale" è usato qui in maniera provocatoria in tempi di e-book e AI: non la letteratura tradizionale resa digitale, né la letteratura scritta da software, ma il campo infinito di *testi scritti da umani negli innumerevoli linguaggi di programmazione*. Una sconfinata letteratura di cui non si intuisce nemmeno l'esistenza, di cui poco si sa e che raramente è studiata come tale.

In una prospettiva che vede i sorgenti come *testi scritti da autori in determinate lingue storiche e in determinati contesti*, l'esposizione vuole fornire un'informazione ricca e rigorosa, innanzitutto sui linguaggi stessi: ne esistono migliaia, da quelli di uso generico a quelli specifici di un dominio, da quelli che ricalcano il lessico e la sintassi di lingue naturali a quelli che fanno uso esclusivamente di segni di punteggiatura [3]. Linguaggi e paradigmi, nella loro dipendenza ed evoluzione storica, formano un patrimonio che è spesso sconosciuto persino agli studenti di Informatica.

C'è poi una connessione stretta tra i linguaggi di programmazione e la lingua madre dell'autore. Ogni codice sorgente è connotato diversamente per il lessico scelto nel nominare variabili, funzioni e procedure, per lo stile e la densità dei commenti. Non a caso, Donald Knuth, uno dei più grandi teorici della programmazione, proponeva negli anni '80 la *Literate Programming* [4] cioè una pratica di scrittura/lettura del codice sorgente a partire dalla sua controparte in linguaggio naturale. Proprio per questa centralità della lettura [5], l'esposizione è fortemente legata al concetto di *Open Source* [6] come preconditione: per verificare, modificare, imparare dagli esempi è necessario poter leggere liberamente il codice.

Un aspetto sfuggente e spesso frainteso è quello della *qualità* del codice sorgente, e in generale della valutazione anche estetica. Se anche il codice sorgente viene *letto*, indipendentemente dalla sua esecuzione da parte della macchina, è naturale che vengano poste in continuazione questioni di qualità, di stile, di estetica, oltre a quelle di efficienza e correttezza.

Per tutti questi motivi, accanto alla schede informative che spiegano origine, significato e contesto storico, verranno installate opere multimediali, digitali e non, che puntano a rendere evidenti le parentele del codice sorgente con le altre tipologie di testi più conosciute, come sceneggiature teatrali e brani musicali. Verranno esposti codici che nascono come poesie [7] o opere artistiche [8] e codici che portano l'efficienza ai più alti livelli a prezzo dell'illeggibilità, fino alle gare di codice offuscato, che fanno riferimento ad un'estetica alternativa a quella classica [9].

Il Museo partirà dunque dagli *oggetti* (i programmi e i linguaggi), ma presenterà anche le *azioni* della scrittura e lettura di un testo e richiamerà l'attenzione sulle *persone* che scrivono codice e sugli inventori dei linguaggi, da Grace Hopper a Linus Torvalds, da Niklaus Wirth a Larry Wall.

Museo inteso non solo come spazio di conservazione e/o catalogazione di frammenti significati di codice sorgente (come l'ambizioso progetto Software Heritage [10] dell'INRIA di Parigi), ma come spazio di continua *riorganizzazione*, come spazio di *formazione* e di *comunicazione*.

In attesa di realizzare il Museo, stiamo cominciando a organizzare delle mostre temporanee in giro per l'Italia, in cui l'esposizione del codice si unisce ai seminari, alle performance e ai laboratori in cui i partecipanti potranno vedere dal vivo come viene creato il codice sorgente.

### 3. I destinatari

A chi può essere rivolta un Museo così specialistico? Non rischia di interessare solo un piccolo manipolo di addetti ai lavori? Pensiamo di no.

Il Museo è pensato per soddisfare esigenze diverse:

- curiosità generica per un mondo sotterraneo e sconosciuto, ma di cui a volte i media fanno balenare sprazzi (Matrix, gli algoritmi cattivi dell'IA);
- interesse per il background teorico e per l'humus che ha consentito la nascita di migliaia di linguaggi diversi;
- passione da collezionista per i reperti storici, usati come lente per ricostruire la storia della cultura digitale [11];
- bisogno di ripensare una didattica del coding e del pensiero computazionale da un punto di vista storico e più ampio;
- attenzione per un'operazione culturale che estende il campo degli studi della linguistica testuale ad un campo totalmente nuovo.

**Interessi che possono convivere o motivare persone diverse.**

La promozione del Museo farà anche leva su una motivazione più forte: il numero di programmatori usciti dalla scuola e dall'Università (comprendendo in questa voce tutti i mestieri della programmazione, che sono tanti e diversi) è insufficiente rispetto ai bisogni del mercato. Contemporaneamente, e questa purtroppo non è una buona notizia, quelli che mancano sono i *buoni* programmatori: creativi, flessibili, capaci di apprendere, con una visione estesa, con una cultura vasta, consapevoli. E mancano le *ragazze*, che – quando ci sono – si dimostrano invece sempre all'altezza se non più creative dei colleghi maschi. Il Museo si pone anche l'obiettivo di *orientare e motivare i giovani* diplomati/e e laureati/e a seguire questa strada professionale con maggior

consapevolezza degli orizzonti di una disciplina che dopo cinquant'anni dalla sua creazione è ancora in fasce.

#### 4. Conclusione

In definitiva, in nostro obiettivo è costruire un Museo se non popolare, sufficientemente aperto e flessibile da poter catturare utenti che non sanno nulla di programmazione insieme a professionisti, studenti e docenti, ricercatori ed education policy maker etc.

Il visitatore, entrato nel Museo con un immaginario pieno di circuiti stampati e codici binari, deve passare attraverso una sorpresa dopo l'altra e uscire con il bisogno di ripensare le sue categorie duali (scientifico/umanistico, meccanico/umano, logico/artistico) e con un desiderio di approfondimento ulteriore che potrebbe portarlo lontano.

E questo è l'augurio che facciamo a tutti.

#### Bibliografia

1. Lévy, P. (1982) *De la programmation considérée comme un des beaux-arts*, Paris, Editions La Découverte
2. Unesco Paris Call <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366715.locale=fr> ultimo accesso febbraio 2019)
3. Esoteric Languages list [https://esolangs.org/wiki/Language\\_list](https://esolangs.org/wiki/Language_list) (ultimo accesso febbraio 2019)
4. Knuth, D.E. (1984) *"Literate programming"*, *The Computer Journal*, 27, Jan 1984, <http://www.literateprogramming.com/knuthweb.pdf> (ultimo accesso febbraio 2019)
5. Deimel, L. E., Naveda, J. F. (1990) *Reading computer programs*, Carnegie Mellon University, [https://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/EducationalMaterial/1990\\_011\\_001\\_15824.pdf](https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/EducationalMaterial/1990_011_001_15824.pdf) (ultimo accesso febbraio 2019)
6. Spinellis, D., (2003) *Code Reading: The Open Source Perspective*. Addison Wesley.
7. Hopkins, S. (1992), *Camels and needles: computer poetry meets the Perl programming language*, Usenix Winter 1992 Technical Conference, [http://www.digitalcraft.org/iloveyou/images/Sh.Hopkins\\_Pperl\\_Poetry.pdf](http://www.digitalcraft.org/iloveyou/images/Sh.Hopkins_Pperl_Poetry.pdf) (ultimo accesso febbraio 2019)
8. Cox, G., McLean, A., Ward, A. (2001) *"The Aesthetics of Generative Code"*, *Proceedings of Generative Art*, <http://generative.net/papers/aesthetics/> (ultimo accesso febbraio 2019)
9. Mateas, M., Monfort, N. (2005) *"A Box, Darkly: Obfuscation, Weird Languages, and Code Aesthetics"*, *Proceedings of the 6th Digital Arts and Culture Conference*, IT University of Copenhagen, 1-3 Dec 2005, pp. 144-153 [http://www.nickm.com/cis/a\\_box\\_darkly.pdf](http://www.nickm.com/cis/a_box_darkly.pdf) (ultimo accesso febbraio 2019)

10. Software Heritage Project, <https://www.softwareheritage.org/> (ultimo accesso febbraio 2019)
11. Montfort, N., Baudoin, P., Bell, J., Bogost, I., Douglass, J., Marino, M.C., Mateas, M., Reas, C., Sample, M., Vawter, (2012) *10 PRINT CHR\$(205.5+RND(1)); : GOTO 10*, MIT Press, <https://10print.org/> (ultimo accesso febbraio 2019)

## Biografia

**Stefano Penge**, laureato nell'86 in Filosofia della Scienza, si è sempre occupato della ricerca e dello sviluppo nel campo del software e dei linguaggi educativi, delle piattaforme e-learning e degli strumenti AI. Su questi temi ha tenuto corsi in presenza e a distanza presso diverse Università e ha scritto alcuni volumi.

Dal 2000 ha aderito al modello Open Source e dal 2011 si occupa di Open Data.

Nel dicembre 2017 ha creato l'Associazione di Promozione Sociale Codexpo.org, con l'obiettivo di realizzare il primo Museo del Codice Sorgente e di creare e diffondere una cultura interdisciplinare intorno alle attività di progettazione e scrittura del software.

Codexpo.org <http://codexpo.org>

Email: [stefano.penge@gmail.com](mailto:stefano.penge@gmail.com)

# Per una storia italiana dell'informatica

S. Hénin

## Sommario

*L'articolo sottolinea l'importanza e l'utilità, particolarmente nella didattica, della storia dell'informatica, raccontando brevemente come la sua storiografia, nata poco dopo la comparsa dei primi pionieristici computer, si è evoluta fino ai nostri giorni. Vi si presentano anche la situazione italiana e le molte attività svolte da AICA nel settore. Lo scritto termina con l'invito a raccogliere testimonianze personali e documenti e a pubblicarli, prima che sia troppo tardi.*

## Abstract

*The article stresses the importance and usefulness, particularly for the education, of the study of the history of computer science and technology, briefly describing how its historiography was born soon after the first pioneering computers and has evolved to the present days. The Italian situation and the many activities carried out by AICA in the sector are also shown. The paper ends with the urge to collect personal witness and documents and to publish them, before it is too late.*

**Keywords:** History of computer science, Italy

## 1. Perché una storia dell'informatica?

In pochi dei *curricula* universitari dei corsi di laurea di facoltà scientifiche è previsto un corso di storia della relativa disciplina. Molti si chiedono, infatti, perché dovrebbe essere diversamente, che importanza ha? Un giovane professionista o ricercatore deve essere orientato al futuro, all'innovazione, allo sviluppo e poco conta cosa è stato fatto prima. Il prolifico storico dell'informatica John A.N. Lee lamenta che "Per molti, la storia è soltanto lo studio di un passato irrilevante, senza riferimento ai valori moderni, un soggetto privo di un'utile dottrina". Infatti, alcuni degli stessi pionieri dell'informatica hanno spesso scelto di non partecipare alla conservazione delle loro storie, dichiarando che erano

più interessati al futuro che al passato, e che “la scienza deve progredire per superare il passato”. Lee fa anche notare che “C’è uno stemma che spesso accompagna la decisione di dedicarsi alla storia di una disciplina dopo una carriera scientifica, il sospetto che sia un segno di senilità” [1]. I sostenitori dell’importanza della conoscenza storica ricorrono spesso all’aforisma dello storico George Santayana: “Coloro che non imparano dalla storia sono condannati a ripeterla”, affermazione che è stata interpretata e criticata molte volte, anche perché la storia non è fatta solo di errori da evitare. Ma non è questo il solo e vero motivo per cui la storia conta. Conoscere il passato serve soprattutto a capire come noi e il nostro mondo siamo giunti ad essere ciò che siamo, attraverso quali percorsi, quali sistemi di valori, quali miraggi e speranze, e conoscere tutto ciò ci può aiutare non tanto a evitare di ripercorrere le stesse strade, ma a capire e orientare meglio i nostri sforzi attuali. Noi siamo il prodotto della nostra storia, o delle nostre storie, facciamo quello che facciamo per ragioni storiche. Il programmatore Bjarne Stroustrup ricorda che “Noi non siamo mai una *tabula rasa*” [2] e lo storico americano Henry Adams, nel suo *Education*, ci ha mostrato come “il passato possa essere un buon posto dove cercare il futuro”. La storia ci aiuta quindi a conoscere dove stiamo andando, stabilendo dove siamo ora e come ci siamo arrivati [3].

Un altro noto storico dell’informatica, Paul Ceruzzi, elenca cinque buoni motivi per fare della storia un elemento fondamentale nell’insegnamento dell’informatica:

- 1) Il materiale storico può aiutare l’insegnamento dell’informatica per coloro che desiderano ravvivare e arricchire i loro programmi con solidi materiali di fatto, piuttosto che ripetere stantii, e fattualmente scorretti, aneddoti di *nerd* e altre amenità;
- 2) la storia può inquadrare i risultati scientifici e tecnici in un contesto economico, sociale e politico;
- 3) la storia è un eccellente veicolo per mostrare agli studenti che genere di persone hanno forgiato il settore nel corso degli anni, il loro retroterra culturale ed economico, i loro valori e il loro lavoro quotidiano;
- 4) la storia può aiutare a introdurre concetti basilari del calcolo automatico [con strumenti più semplici di quelli attuali, N.d.A.];
- 5) [per lo stesso motivo] la storia può introdurre anche gli studenti di altre discipline ai principi dell’informatica, può fornire loro quella minima competenza (*computer literacy*) necessaria a vivere in un mondo digitalizzato [4].

Di fatto, nel 1991, una *Joint Task Force* della *IEEE Computer Society* e dalla *Association for Computing Machinery* proponeva esplicitamente di includere moduli formativi correlati alla storia in almeno quattro delle aree specifiche dei corsi di informatica [1]. Nel 1998 lo stesso argomento fu ripreso dalla *International Federation for Information Processing* (IFIP) che produsse un rapporto intitolato “History in the Computing Curriculum” dove evidenziò la necessità di includere la storia nei corsi di informatica a livello di scuole superiori e università [5]. Non sono pochi, quindi, gli scienziati, i docenti e i

tecnologi che considerano la storia dell'informatica uno strumento utile per l'avanzare delle nostre conoscenze e delle nostre capacità in ambito ICT.

## 2. Storiografia dell'informatica

Il calcolatore elettronico digitale automatico programmabile (il computer) comparve solo 75 anni fa e una disciplina formale (*computer science* o *informatica*) cominciò ad essere stabilita circa un decennio più tardi, ma lo studio della loro storia iniziò molto presto. Già nel 1976 fu organizzata a Los Alamos la prima *International Research Conference on the History of Computing* e tre anni dopo fu fondata la prima rivista dedicata esclusivamente all'argomento: gli *Annals of the History of Computing*. Coloro che iniziarono a raccogliere memorie, scriverle e pubblicarle, furono gli stessi pionieri che avevano sviluppato le prime macchine, quindi non storici di professione e formazione. Le loro sono quelle che vengono chiamate 'storie interne'. Quasi tutti loro descrivevano l'evoluzione tecnica dello hardware o scrivevano le loro memorie e le biografie dei loro colleghi scomparsi. Nelle loro narrazioni si scorge l'ingegnere elettronico che progettò i circuiti e il fisico o il matematico che scrisse i primi programmi. Questi narratori descrivono nei particolari come fecero tutto ciò, le caratteristiche tecniche delle loro macchine, ma più raramente commentano gli ambienti in cui lavoravano e le istituzioni che finanziavano il loro lavoro, sebbene mostrino attenzione all'uso che se ne faceva. [6]. A costoro si affiancarono — e si affiancano tutt'ora — i giornalisti, che si dedicano soprattutto a biografie di personaggi di successo e ad anniversari di eventi topici, o presunti tali.

Gli storici americani di professione sdegnavano l'argomento con il commento "Non ci occupiamo di nulla che sia più recente della guerra civile americana (1861-65)" e anche uno storico della tecnologia si giustificò affermando che "La storia del computer è troppo recente da rischiare di essere dimenticata". Forse non si erano accorti della enorme velocità con cui questa nuova tecnologia si sarebbe sviluppata, per cui strumenti di un decennio prima stavano diventando già obsoleti e dimenticati dai più e quindi trasformandosi in oggetti 'storici'[1]. Fu nei primi anni 1980 che gli storici accademici cominciarono ad interessarsi al computer e alla sua storia e il loro approccio fu piuttosto diverso da quello dei loro predecessori. Essi iniziarono a staccarsi lentamente dalle pure storie di macchine, muovendosi verso un'analisi a più ampio respiro, come quelle delle istituzioni che costruirono le macchine, le usarono o le commercializzarono, e anche verso quella componente immateriale e difficilmente percepibile dai più che era stata chiamata *software*. Nei primi anni 2000 c'erano ormai, nel mondo, 125-200 storici e molte centinaia di altri accademici coinvolti in qualche forma di ricerca relativa alla storia del computer. Le pubblicazioni fiorirono in centinaia di libri e migliaia di articoli, e iniziò così una nuova storiografia dell'informatica che prese le distanze e criticò i primi autori delle 'storie interne'. Già nella conferenza del 1976, Dick Hamming sottolineava che "Noi vorremmo sapere cosa pensavano quando lo fecero" e perorava in favore di una storia dell'informatica che perseguisse lo sviluppo contestuale di idee piuttosto che una semplice lista di nomi, date e 'primi'. Gli studiosi citavano spesso l'affermazione del novellista

inglese Leslie Hartley: “Il passato è come un paese straniero, lì le cose si fanno in modo differente”, per ricordare che non si devono applicare ai fatti del passato le idee e i concetti di oggi. Particolarmente incisivo fu Michael S. Mahoney, che criticava il vano interesse per i ‘primi’: “nulla è interamente nuovo, specialmente nella tecnologia, l’innovazione è incrementale e ciò che già esiste determina pesantemente ciò che verrà creato” [2]. Un suo collega, Nathan Ensmerger, criticò specialmente i giornalisti: “La mitologia del ‘nerd solitario’ è un genere potente e avvincente con cui gli storici accademici non possono competere ... sono interessanti aneddoti e avvincenti narrative personali, ma senza significato. Il genere popolare del tipo ‘la macchina che cambiò il mondo’ si focalizza generalmente sull’inventore solitario, che spesso combatte contro i ‘dinosauri’ delle culture aziendali dominanti ... [terminando con la ritrita frase] ‘e il mondo non fu più lo stesso!’” [7]. Ancor più recentemente, storici e sociologi della tecnologia hanno iniziato estendere le loro ricerche oltre ai soliti casi di successo e ai relativi trionfi economici. Hanno cominciato a esaminare anche i fallimenti. L’informatico John Backus, nel suo discorso di accettazione del Premio Charles Stark Draper (1994) disse “Nella scienza, come in tutti i lavori creativi, noi falliamo ancora e ancora. Per ogni idea di successo, abbiamo di solito dozzine di altre che non funzionano, non importa quanto duramente ci impegniamo. Ma fallendo impariamo molto. L’insegnamento della scienza è spesso l’insegnamento di successi, ci vergogniamo ad insegnare i fallimenti perché crediamo che siano poco interessanti o uno spreco di tempo. I fallimenti vengono dimenticati anche perché ‘la vittoria ha cento padri la sconfitta è sempre orfana’ ... Ma i fallimenti ci possono insegnare quanto o più delle vittorie” [1].

Dobbiamo allora lasciare interamente agli storici di mestiere la narrazione della storia dell’informatica (e, più generalmente, quella della tecnologia)? Certamente no. Le memorie di chi ha partecipato di persona agli sviluppi, pionieristici o meno, dell’informatica moderna sono documenti preziosi e i loro racconti vanno raccolti e conservati. Un esempio eclatante è l’opera del *Charles Babbage Institute* che da anni registra memorie orali raccolte con interviste ai personaggi coinvolti. Anche gli archivi documentari delle istituzioni sono elementi preziosi che devono essere salvati dalla discarica. Cortada [6] elenca le cose da fare, tra cui: 1) raccogliere il materiale archivistico per poi donarlo a istituzioni così che il futuro storico possa consultarlo; 2) scrivere e pubblicare memorie, bibliografie e articoli storici, 3) preparare bibliografie annotate e altri strumenti di ricerca. E non dimentichiamo la conservazione degli artefatti: “La memoria della tecnologia risiede negli artefatti più che nei documenti scritti e gli storici devono imparare a leggere gli artefatti”, dice Mahoney [2]. Quindi anche i reperti fisici debbono essere raccolti e conservati, prima che vengano riciclati come rottami.

### 3. Perché una storia italiana?

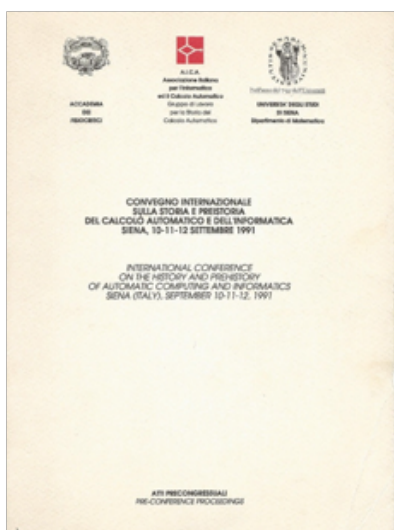
La letteratura sulla storia dell’informatica è quasi totalmente monopolizzata da autori americani, seguiti, a una certa distanza, dai britannici. Essa si concentra quindi prevalentemente sul mondo anglosassone, e ciò non deve stupirci; le invenzioni e le innovazioni dell’informatica sono state quasi sempre un fenomeno statunitense. Il Regno Unito, che pure ha visto interessanti esordi nei

primi anni, precedendo a volte i cugini d'oltre oceano, ha poi perso slancio e opportunità. Gli altri paesi hanno seguito faticosamente a distanza. Non è questa la sede per discutere le tante cause di tale situazione, tutte legate a condizioni economiche, politiche e sociali determinate dalla precedente guerra mondiale [8]. Nei suoi 40 anni di vita, la maggiore (e unica) rivista internazionale dedicata all'argomento, i già citati *IEEE Annals of the History of computing*, ha pubblicato circa 1280 articoli, ma di questi poco più di un decimo (124) narrano storie di paesi diversi da USA e UK. Circa lo stesso rapporto vale per i libri. Questo non vuol dire che il resto del mondo non abbia dato contributi innovativi e che questi non siano riconosciuti dagli storici anglosassoni, ma che, semplicemente, poco si sa e si racconta di loro, anche nei loro stessi paesi. Lo scarso interesse per la storia dell'informatica in altre nazioni, sia da parte di chi la dovrebbe scrivere sia da quella di chi la dovrebbe leggere, è quindi il motivo principale di tale negligenza. Il fenomeno è particolarmente sentito in Italia: tra i 124 articoli degli *Annals*, solo tre parlano di storie italiane, contro 26 per la Francia, 17 per la Germania e 9 per l'ex-Unione Sovietica. Di questi tre, poi, uno solo tratta di calcolatori elettronici, gli altri due descrivono calcolatrici meccaniche ottocentesche. A questi si aggiungono una decina di libri che trattano della nota vicenda Olivetti o di altri primi calcolatori italiani. In realtà, l'interesse per il passato non è del tutto assente nel nostro paese, come è dimostrato dalla vivacità delle decine di musei dell'informatica, piccoli e grandi, distribuiti nel territorio [9]. Queste strutture, spesso gestite da volontari e appassionati amatori, non si limitano a collezionare artefatti del passato, ma li studiano, li rimettono in funzione (archeologia sperimentale), ne fanno dimostrazioni, partecipando con successo anche a eventi internazionali. Spesso, però, la loro attività si concentra solo sui primi personal computer, perché facili da reperire e da rimettere in funzione, privilegiandone gli aspetti tecnici più che quelli economici e sociali. Molto resta ancora da fare, soprattutto raccogliere testimonianze di esperienze dirette, prima che sia troppo tardi, e scriverne storie, estendendo gli studi oltre la semplice elencazione di macchine.

#### 4. AICA e la storia dell'informatica

La Associazione Italiana per l'Informatica e il Calcolo Automatico (AICA), fondata nel lontano 1961, ha sempre mostrato attenzione per la storia dell'informatica italiana, un impegno che si è tradotto in azione concreta nel 1984, quando un apposito Gruppo di lavoro fu istituito per iniziativa di Giorgio Sacerdoti, allora presidente dell'Associazione. Ne è nato subito dopo un 'Progetto storia' che si è manifestato in una mostra in occasione del Congresso AICA di Trento del 1987 e nel "Convegno internazionale sulla storia e preistoria del calcolo automatico" tenuto a Siena nel 1991, con la partecipazione di esperti da altre nazioni (Fig. 1). Ricordo anche la rassegna dal titolo "Per fili e per segni - Ingegno italiano e società del l'informazione" organizzata nel 2004 a Genova, in occasione dell'evento "Genova Capitale Europea della Cultura". A partire dal 2005, AICA ha promosso e finanziato per tre anni accademici l'istituzione di dodici corsi universitari di storia dell'informatica in altrettante università italiane [10, 11] e, nell'anno accademico 2008-2009, ha istituito un bando per le migliori tesi di laurea sull'argomento, esteso a tutte le facoltà universitarie italiane. In

occasione del *World Computer Congress* del 2008, AICA ha realizzato la brochure "*Walking Through the Italian Computer History*" per ricordare, se pur in modo sintetico, i contributi dell'ingegno italiano allo sviluppo dell'informatica, nei suoi aspetti teorici oltre che pratici (Fig. 2). Negli ultimi anni, l'Associazione ha anche patrocinato eventi organizzati in Italia sulla storia del computer. La rivista *Mondo Digitale*, infine, nei suoi 17 anni di vita, ha pubblicato 31 articoli di storia, di cui 12 dedicati a storie italiane. Nel 2014 è stata effettuata un'indagine sui musei e le collezioni italiane di manufatti informatici, i cui risultati sono stati pubblicati l'anno successivo [9].



**Figura 1**  
*Atti pre-congressuali del Convegno internazionale della storia e preistoria del calcolo automatico, Siena, 1991.*



**Figura 2**  
*Brochure di Walking Through the Italian Computer History, 2008*

## 5. Il progetto 'Storia nel Portale AICA'

Fin dalla creazione del suo portale web nel 2000, una sezione del sito web di AICA è stata dedicata interamente alla storia dell'informatica in Italia, con la pubblicazione di storie relative alle prime realizzazioni italiane degli anni 1950. In occasione del rinnovamento del portale, è stato ricostituito un Gruppo di lavoro che ne curasse l'aggiornamento e l'arricchimento. Oggi tale gruppo di lavoro è costituito da Silvio Hénin, AICA (Coordinatore); Elia Bellussi, Museo Piemontese dell'Informatica, Torino; Corrado Bonfanti, AICA; Luca Cerri, AICA e ARASS-Brera, Andrea Celli, Istituto per le Applicazioni del Calcolo "Mauro Picone" CNR, Roma; Giovanni A. Cignoni, Corso di Storia dell'Informatica, Università di Pisa; Ivo De Lotto, Università di Pavia; Franco Filippazzi, AICA; Giuseppe Lettieri, Museo degli Strumenti per il Calcolo di Pisa. Nel corso degli ultimi quattro anni, il gruppo ha iniziato a riorganizzare i contenuti in sette diverse sezioni, arricchendoli di nuovi contenuti (Fig. 3):

- 'Origini del calcolo automatico', raccoglie storie che vanno dalla preistoria' del calcolo meccanico fino agli esordi del calcolo elettronico negli anni 1950.
- 'Calcolo scientifico e industriale in Italia', vi si trovano le storie dei principali centri di calcolo nel mondo dell'università e della ricerca pura e applicata.
- 'Musei italiani' sono elencate tutte le strutture museali e altre raccolte di manufatti e documenti, con i loro riferimenti.
- 'Produttori italiani di informatica' (hardware e software), comprese le aziende estere e multinazionali con rilevante presenza nel nostro paese.
- 'Storia dell'informatica raccontata da Mondo Digitale' che raccoglie tutti gli articoli di storia pubblicati nella rivista.
- 'Elaborazione dati in Italia' è dedicata all'uso gestionale delle macchine da calcolo, a partire dalla meccanografia a schede perforate per la statistica fin ai computer usati in amministrazioni e enti.
- 'Informatica e società' che raccoglierà documenti sugli aspetti sociali, economici e politici della tecnologia digitale, sempre dal punto di vista storico e limitatamente alla situazione italiana.



**Figura 3**  
Home page della sezione di storia  
del portale AICA (<https://www.aicanet.it/storia-informatica>).

Sfogliando le sezioni, ci si accorgerà che alcune sono abbastanza ben fornite di materiale, mentre altre sono molto più povere. Molto c'è ancora da fare. Purtroppo, il GdL si sta accorgendo quanto sia difficile rintracciare documenti già scritti e ancor più trovare chi ne scriva altri. Ad esempio, mancano quasi completamente racconti delle aziende italiane o multinazionali operanti in Italia, di come sono nate e come si sono sviluppate, chi furono i personaggi che le fondarono o le diressero. Sono del tutto assenti studi storici sulla introduzione degli strumenti informatici nelle istituzioni italiane come la pubblica amministrazione, le poste, le ferrovie, le banche e le assicurazioni, le industrie in genere. Se poi parliamo dell'esplosiva innovazione avvenuta con la nascita del

personal computer e delle reti, mancano ancora racconti di come questa si sia diffusa in Italia, sia stata adottata dai diversi ambienti e che impatto ebbe sulle nostre abitudini. Mancano biografie di personaggi italiani che, localmente o globalmente, diedero contributi importanti. C'è un senso di urgenza in questa ricerca: bisogna raccogliere le memorie prima che vengano del tutto dimenticate, occorre spulciare gli archivi degli enti prima che vadano al macero e intervistare i protagonisti finché sono ancora tra noi. Ma soprattutto bisogna scrivere storie, non semplici elenchi di macchine, fatti, aneddoti e veri o presunti primati, ma le storie, anzi la Storia. Chiunque voglia collaborare a quest'opera sarà benvenuto.

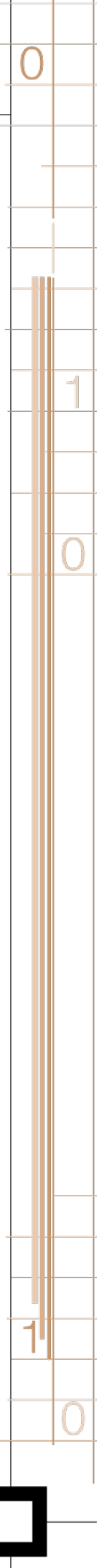
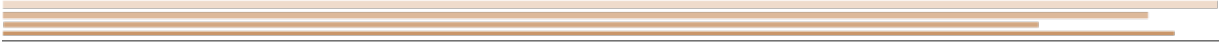
## Bibliografia

1. Lee J.A.N., "Those who forget the lessons of history are doomed to repeat it", *IEEE Annals of the History of Computing*, 18 (2), 1996, pp. 54-62.
2. Mahoney M.S., "Issues in the History of Computing", in: Mahoney M.S., *Histories of computing*, Harvard University Press, 2011.
3. Mahoney M.S., "The Histories of Computing(s)", in: Mahoney M.S., *Histories of computing*, Harvard University Press, 2011.
4. Ceruzzi P.E. "The Challenge of Introducing History into a Computer Science Curriculum", in Akera A., Aspray W., *Using History to teach Computer Science and Related Disciplines*, Computing Research Association, 2004.
5. Haigh T., "The History of Computing: An Introduction for the Computer Scientists", in Akera A., Aspray W., *Using History to teach Computer Science and Related Disciplines*, Computing Research Association, 2004.
6. Cortada J.W. "Studying History as it Unfolds. Part 1: Creating the History of Information Technologies", *IEEE Annals of the History of Computing*, 37 (3), 2015, pp. 20-31.
7. Ensmenger N., "From Computer Celebrities to Historical Biographies", *IEEE Annals of the History of Computing*, (4), 2011, pp. 86-88.
8. Hénin S., *Come le violette a primavera*, AICA, 2015; *Il racconto del computer*, Manna, 2017.
9. Hénin S., Cerri L., "Musei e raccolte di storia dell'informatica in Italia", *Mondo Digitale*, novembre 2015, [http://mondodigitale.aicanet.net/2015-5/rubriche/01\\_musei\\_e\\_raccolte\\_dl\\_storia.pdf](http://mondodigitale.aicanet.net/2015-5/rubriche/01_musei_e_raccolte_dl_storia.pdf)
10. Bonfanti C., "Corsi di storia dell'informatica nelle università italiane", *Mondo Digitale*, settembre 2007, [http://archivio-mondodigitale.aicanet.net/Rivista/07\\_numero\\_3/Bonfanti%20%20p.%2033-39.pdf](http://archivio-mondodigitale.aicanet.net/Rivista/07_numero_3/Bonfanti%20%20p.%2033-39.pdf)
11. Bonfanti C., "Storia dell'informatica e formazione culturale degli studenti", *Mondo Digitale*, settembre 2007, [http://archivio-mondodigitale.aicanet.net/Rivista/07\\_numero\\_3/Giangrandi%20p.%2040-47.pdf](http://archivio-mondodigitale.aicanet.net/Rivista/07_numero_3/Giangrandi%20p.%2040-47.pdf)

## Biografia

**Silvio Hénin** è uno studioso di storia della tecnologia, argomento su cui ha scritto numerosi articoli, e alcuni libri. Coordinatore del gruppo di lavoro Storia dell'informatica di AICA, membro dello IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering) e consulente del Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia 'Leonardo da Vinci' di Milano.

Email: [silvio.henin@gmail.com](mailto:silvio.henin@gmail.com)



# Comunity D-Avengers:

## una discussione sui grandi temi dell'innovazione

G. Gazzano, A. Verrini

### Sommario

*Da sempre, sin da quando ha inventato la ruota, l'uomo si è trovato ad affrontare l'evoluzione da lui stesso provocata, rapportata al mondo e alla società nella quale viveva, anche agli albori della civiltà. Attualmente ci troviamo di fronte ad una evoluzione-rivoluzione provocata dalla enorme potenzialità di quanto ha prodotto e che ha un impatto sull'intera società. Però l'uomo, con la sua intelligenza, saprà governare fenomeni così dirompenti.*

### Abstract

*In the human history any kind of evolution has created a revolution in our life, with improvement but also, sometime, problems. At the moment we are living in a period of disruption both for the work and for our everyday personal life due to the continuous digital evolution. New technology will have a tremendous cross impact in the organization of any company, in the production processes, in the competence of professional that many times must be created "ex novo". We must keep a governance on the evolution we are living and ethics will help us in keeping the control on the consequence we must avoid. AICA and SDA Bocconi decided to create the D-AVENGERS Community as a common area where the new managers and people to be trained for the new jobs can share, compare and increase experiences.*

**Keywords:** Digital evolution, Innovation, Expertise, Artificial Intelligence, Ethics



Dagli albori della civiltà l'uomo ha provocato e generato innovazione con strumenti, prodotti, soluzioni creati dalla sua mente involontariamente o con una ricerca consapevole, normalmente finalizzata alla soluzione di problemi e al miglioramento della sua vita. Spesso con timore si è trovato nella situazione di adattare al nuovo il suo modo di essere e di vivere e di governare il fenomeno per ridurre il rischio di conseguenze negative che, con notevole frequenza, possono derivare dalle innovazioni.

Nel corso dei secoli la maggior parte dei fenomeni innovativi ha provocato vere e proprie rivoluzioni che hanno sovvertito il modo di essere e di vivere dell'umanità e, soprattutto, il futuro. La scrittura: sicuramente è nata da una necessità di comunicazione tra uomini che potesse andare oltre l'atto momentaneo della comunicazione diretta consentita dalla lingua parlata. Oltre a questa necessità si poneva un'esigenza, anche se probabilmente inconscia, di trasmettere e diffondere l'esperienza anche oltre la vita di una generazione. E si tratta di una esigenza che ancora nell'era moderna si dimostra sentita attraverso le popolazioni di certe aree dell'Africa dove gli anziani raccolgono i giovani sotto il baobab per trasmettere la propria storia e la propria esperienza, non avendo mai avuto una lingua scritta.

L'evoluzione delle tecniche di costruzione, delle quali ancora oggi forse non ne conosciamo completamente i dettagli, hanno portato a costruire monumenti che sono rimasti a memoria dell'evoluzione della civiltà non solo come opere artistiche ma anche come nuovi modi di vivere che hanno provocato la strutturazione della vita sociale secondo criteri innovativi nei servizi e nelle strutture. Dalla storia è derivata la conoscenza di tecniche di costruzione che hanno risolto problemi che sembravano di soluzione estremamente difficile. A imperituro esempio ci rimane a Firenze la cupola del Brunelleschi il quale, non essendo neanche un architetto, ha saputo interpretare ed elaborare tecniche di costruzione dell'antica Roma per progettare e costruire la cupola del Duomo utilizzando soluzioni e tecniche che, all'epoca, hanno suscitato forti critiche e contestazioni.

Ma non è il caso di fare in questa sede la "storia dell'umanità" attraverso la continua innovazione che ha portato al mondo di oggi. In tempi più vicini siamo passati attraverso l'invenzione della stampa che ci ha consentito di recuperare l'enorme patrimonio culturale dell'antichità in maniera rapida e facilmente riproducibile senza dover accedere ai servizi di amanuensi che passavano la vita a copiare a mano codici antichi nei conventi. L'evoluzione degli strumenti di guerra, sino all'utilizzo dell'energia atomica, ha messo a rischio, e continua a tenerla a rischio, la razza umana e la stessa vita sulla terra. Eppure anche l'energia nucleare può essere utilizzata a beneficio nella vita dell'uomo, purché se ne governi l'enorme e spaventoso potenziale. Non dimentichiamo la famosa frase di Einstein: "Non so con quali armi si combatterà la Terza guerra mondiale, ma la Quarta sì: con bastoni e pietre". Eppure sino ad oggi, e nonostante l'avvento anche di altre armi di potenziale distruzione di massa, l'uomo ha saputo mantenere il controllo, con la sua intelligenza, nei molti momenti di crisi che si sono verificati.

Sono quindi iniziate a cavallo tra il '700 e l'800 le rivoluzioni industriali che hanno letteralmente stravolto il modo di vivere e di lavorare dell'uomo con un'innovazione sempre più pervasiva in ogni settore della vita. Dalle macchine a vapore alle ferrovie, dall'energia elettrica all'automobile, dall'aereo al telegrafo e al telefono e quindi a sistemi di comunicazione che hanno sempre più ridotto ed annullato le distanze tra le persone, il primo effetto molto spesso è stato quasi un senso di paura. Oggi, l'elettronica e l'informatica che sono alla base della quarta rivoluzione industriale, stanno "stravolgendo" la vita dell'uomo in ogni suo aspetto. Già le prime rivoluzioni industriali hanno provocato, soprattutto agli inizi, una domanda che ha spaventato il mondo dei lavoratori per il rischio che le innovazioni potessero portare una riduzione del lavoro per l'uomo. Di fatto si sono invece verificati da un lato un miglioramento nel modo di lavorare e dall'altro una modifica che ha indotto la riduzione o l'eliminazione di certe attività portando alla creazione di nuove professionalità.

Attualmente ci troviamo di fronte ad una rivoluzione non solo nel modo di lavorare ma anche di vivere nella vita quotidiana. Da un lato si pensa di essere vicini alla realizzazione di un sogno, quello dell'intelligenza artificiale, che è nell'immaginario dell'uomo da moltissimo tempo, dall'altro ci si trova con strumenti sempre più potenti grazie alla rapidissima evoluzione della tecnologia e alla disponibilità di un'enorme quantità di dati facilmente accessibili, elaborabili e fruibili. L'intelligenza dell'uomo è sicuramente in grado di valutare le conseguenze nell'uso non governato dell'innovazione attualmente in corso e i danni e non solo i vantaggi che ne possono derivare, anche gestendo una transizione tra generazioni che, di per sé, potrebbe creare non pochi problemi. E insieme all'intelligenza l'etica, che deve entrare nella cultura di qualsiasi professionista e ci potrà supportare nel gestire la nuova rivoluzione ponendo quelle limitazioni che devono ridurre il rischio dei danni provocati da un'evoluzione incontrollata nelle sue conseguenze. Si sta incominciando a lavorare in questa direzione per progettare il futuro.

Presto infatti tutti noi ci troveremo a fare i conti con una rivoluzione profonda, originata dalla tecnologia: si apriranno scenari radicalmente diversi da quelli attuali, non solo nel lavoro, ma nella nostra quotidianità. È sempre più evidente che, prima ancora del sistema economico/produttivo rappresentato dalle aziende, sarà la società come la conosciamo oggi a cambiare profondamente: assisteremo a una vera e propria singolarità tecnologica e sociale.

Per affrontare questi cambiamenti saranno richieste nuova sensibilità, nuove attitudini, nuove competenze e conoscenze; nel contempo si porranno importanti e significativi quesiti etici, su cui è imperativo porre l'attenzione.

E come viene vissuto tutto questo nelle aziende soprattutto da chi ha tradizionalmente il compito di presidiare l'Information Technology? Per affrontare la metamorfosi digitale ormai non si può prescindere da alcuni fatti: l'innovazione è un fenomeno collettivo che trascende la singola azienda, richiede multidisciplinarietà paritetica rispetto a competenze e ruoli, ma soprattutto necessita di una pervasiva cultura digitale che metta al riparo l'azienda da banalizzazioni e semplificazioni pericolose.

Occorre innanzitutto definire nuovi processi per gestire l'innovazione, perché non rimanga un fatto episodico ma sia strutturata e ripetibile; nuovi processi che prima di tutto devono supportare le persone IT nell'orientarsi nel mondo delle tecnologie e soluzioni disponibili, che a volte seguono una logica più guidata dalla moda del momento che dalla sostanza.

Ma se non è più possibile né conveniente prescindere e non fare tesoro della ricchezza di tutto ciò che accade al di fuori della propria azienda, è sempre più vero che orientarsi in questa enorme mole di opportunità mettendo a terra tecnologie e soluzioni in modo produttivo per la propria realtà è una fatica quasi improba per dispendio di energie e di tempo, cose che sempre meno in azienda vengono concesse al tecnologo.

Inoltre per creare soluzioni di valore per l'azienda è diventato imprescindibile mettere insieme punti di vista differenti, creando sintesi tra specializzazioni, competenze e ruoli diversi (*business, human resources, procurement, ...*) fin dal concepimento della soluzione; anzi, fin dalla distillazione del bisogno che spesso non esisterebbe senza la tecnologia.

E bisogna tenere conto che la soluzione basata sulla tecnologia ha sempre più impatti trasversali sull'organizzazione, sui processi, sulle competenze che devono essere create in molti casi ex novo; basti pensare ad esempio alle soluzioni di RPA (*Robotic Process Automation*) che introdotte in azienda per automatizzare processi ripetitivi e di scarso contenuto, con effetti positivi sulla produttività e sulla qualità del lavoro delle persone, spesso sono osteggiate dalle funzioni HR perché creano problemi di ricollocamento e di re-skilling.

E quindi la multidisciplinarietà consapevole di tutte le figure aziendali diventa la chiave per vincere insieme, oltre alla capacità di confronto e collaborazione tra professionisti di varia competenza.

Ma per fare questo bisogna superare uno stereotipo culturale che vede ancora oggi spesso il tecnologo schiacciato in un ruolo esclusivamente tecnico e subordinato alle altre funzioni.

Occorre che le aziende capiscano che non possono più permettersi di affrontare la digitalizzazione senza un approccio ampio e profondo sulle nuove tecnologie e su tutte le loro implicazioni. In particolare, la generazione di manager che si occupa oggi e si occuperà sempre più di gestire gli impatti della digitalizzazione ha il dovere di proteggere il mondo aziendale dalle banalizzazioni e dai luoghi comuni che tendono a concentrarsi attorno a tutto ciò che è digitale. Diventa fondamentale fare squadra attorno a questi temi, unendo competenze e capacità diverse ma complementari.

La sfida quindi del tecnologo diventa quella di abilitare la trasformazione condividendone la leadership con le altre funzioni aziendali, aprendosi alle contaminazioni fuori e dentro l'azienda ed evolvendo la propria identità all'interno dell'ecosistema dell'innovazione.

Ma come aiutare i nuovi manager a districarsi in questo mondo complesso e affascinante soprattutto in un momento di metamorfosi così profonda? AICA e SDA Bocconi hanno concepito l'idea di offrire uno spazio comune di

condivisione, confronto e crescita ai nuovi manager e a chi si sta formando per le professioni del futuro, con l'obiettivo di unire le forze per affrontare la trasformazione digitale: la Community D-AVENGERS [www.aicanet.it/davengers](http://www.aicanet.it/davengers)

La Community nasce come uno strumento di accelerazione di innovazione digitale, che crea consapevolezza su ciò che sta accadendo, fa sintesi e capitalizza esperienze delle aziende e del mondo accademico e della ricerca, favorendo la costruzione di un patrimonio comune di esperienze e conoscenze, da rendere disponibile e accessibile a un pubblico più ampio.

Nella Community ci si confronterà su quale è lo scenario tecnologico, quali sono le soluzioni più significative, come stanno cambiando le professioni, quali sono le competenze necessarie nella quotidianità degli individui e delle aziende, quali sono le implicazioni etiche delle nuove tecnologie, quali possono essere i percorsi formativi che portano a creare e mantenere la necessaria professionalità; in sintesi ci si interrogherà su che cosa aspettarsi nel futuro prossimo sul piano culturale, economico, della qualità della vita, quali sono gli obiettivi e come raggiungerli.

Il primo argomento di confronto nella Community è quello dell'Intelligenza Artificiale, articolato in varie iniziative tra eventi aperti al pubblico, dal titolo 'L'alba del pianeta delle macchine: la rivoluzione?' e dibattiti tra i vari professionisti che già operano per affrontare la trasformazione digitale e i professionisti di domani che sono i giovani che si stanno accingendo a intraprendere questa via. In particolare è importante la continuità che si viene a creare tra i professionisti che stanno già creando innovazione nel mondo delle aziende e i giovani che si pongono come i progettisti del futuro. La stessa progettazione, e l'avviamento, della Community tengono conto dell'esperienza dei professionisti e delle esigenze dei giovani che stanno entrando nel mondo del lavoro.

## Biografie

**Gloria Gazzano** inizia la carriera nel 1980 in Olivetti lavorando in Italia e negli USA su progetti di Sistemi Operativi e Education.

Alla fine degli anni ottanta entra prima in Enoteam e poi in Engineering come DG Mercato Energy & Utilities e AD di una società del gruppo.

Nel 2008 diventa CIO Italgas, leader nella Distribuzione gas.

Nel 2010 è Direttore ICT del Gruppo Snam dove realizza un importante programma di Digital Transformation.

Da fine 2016, dopo la scissione di Italgas da Snam, diventa CIO di Italgas e guida il progetto di separazione dei sistemi.

Dal 2018 è DG della società DBridge.

Email: [gloria.gazzano@gmail.com](mailto:gloria.gazzano@gmail.com)

**Anna Verrini**, laurea a Torino in Matematica, inizia a lavorare come Ricercatore CNR al Politecnico di Torino che lascia dopo tre anni, dopo aver vinto il concorso di Assistente Ordinario. Passa all'industria privata operando sia in aziende della domanda che dell'offerta, inizialmente in società del Gruppo IFI.

Da quel momento opera in diversi settori, da quello petrolifero con la progettazione del sistema informativo gestionale di raffineria, sino alle prime soluzioni ERP importate dagli Stati Uniti. E' passata quindi alle attività commerciali e marketing in settori innovativi, dall'editoria al commercio elettronico, operando anche in multinazionali con incarichi a livello europeo.

Attualmente opera attraverso consulenze con la speranza di trasferire sulle nuove generazioni l'esperienza e la voglia di risalire la china con l'entusiasmo che ha contraddistinto chi li ha preceduti.

Email: [anna.verrini43@gmail.com](mailto:anna.verrini43@gmail.com)

# Goal! Quando il computer scende in campo

F. Filippazzi

Un boato vulcanico sottolineò l'ultimo goal dell'Audax. Poi il fischio di chiusura e l'apoteosi della squadra di San Calimero al Lambro. Il campionato di calcio di serie A era terminato e l'Audax era campione d'Italia! Nello stadio ammantato di vessilli rosa a pallini blu (i colori dell'Audax) e avvolto dal fumo dei mortaretti, si scatenarono scene di entusiasmo senza precedenti.

E avevano ben ragione di esultare i tifosi dell'Audax.

Basta pensare che solo quattro anni prima la loro era una squadretta di paese che annaspava nell'ultimo dei gironi calcistici.

Poi, d'un tratto, la fantastica ascesa: un anno dopo l'altro, senza perdere un colpo, la squadra aveva percorso tutta la scala calcistica, fino alla serie A. Ed ora, appena arrivata, aveva vinto anche il massimo torneo!

Come si può immaginare, l'Audax era ormai diventato l'argomento principe dei discorsi degli italiani, e un filone inesauribile per la stampa, la radio, la televisione.

Anche chi non si era mai occupato di calcio si era appassionato all'argomento. E, per la prima volta, era persino accaduto che i giornalisti sportivi si trovassero a corto di iperboli per i loro pezzi di colore.

In effetti, tutta la storia dell'Audax era straordinaria, a cominciare dai suoi giocatori. A guardarli, questi giovanotti corpulenti, un po' sbracati, che correvano scompostamente, sembravano la parodia degli eroi dello stadio. Né facevano molto per migliorare la forma: mai stati in ritiro, mai fatto diete o astinenze di altro genere.

I loro allenamenti erano quanto di meno sofisticato si possa immaginare: un po' di flessioni e qualche giro di corsa nei prati attorno al paese. Erano insomma rimasti i tipici calciatori della domenica, dei giovanotti di buona volontà, che si divertono una volta la settimana a dare quattro calci al pallone. Eppure avevano

0

1

0

1

0



affrontato e sbaragliato squadroni dai nomi gloriosi, composti da giocatori famosi, pagati a peso d'oro.

Altrettanto emblematico era poi il loro allenatore: un simpatico signore quasi calvo, con vistosa pancetta, i piedi piatti e spesse lenti da miope, di cui si assicurava che non avesse mai dato un calcio al pallone dal tempo delle elementari.

Eppure l'incredibile ascesa dell'Audax era cominciata proprio da quando il "professore" – così lo chiamavano – era diventato l'allenatore della squadra.

Anche il modo con cui il professore era arrivato a tale incarico rientrava nel cliché della squadra. Come riferivano i cronisti, egli si era trovato un giorno in pensione e con molto poco da fare. Come gli fosse venuta l'idea di proporsi come allenatore dell'Audax, non era ben chiaro. Né era chiaro perché il presidente della squadra gli avesse affidato l'incarico, visto che il professore non aveva altri titoli che quello di essere suo amico d'infanzia.

Sta di fatto che l'anno stesso dell'arrivo in squadra del professore la squadra era arrivata prima nel suo girone ed era salita in serie C1, primo passo dell'epica scalata all'olimpico calcistico.

Il fenomeno Audax aveva presto monopolizzato l'attenzione di tutti gli allenatori e i tecnici del ramo. Il comportamento della squadra e il gioco dei singoli componenti vennero analizzati minuziosamente (e sempre più affannosamente), senza però trovare una spiegazione plausibile dei sorprendenti risultati. Fiumi di inchiostro vennero scritti sull'argomento, facendo tutte le possibili ipotesi, con i cronisti sportivi trasformati in segugi.

Indagando sulla figura dell'allenatore, si venne a sapere che il professore era stato un noto esperto di calcolatori elettronici, e che aveva passato la sua vita in un laboratorio dove si progettavano questi marchingegni. Si fece allora strada l'ipotesi che egli si avvallesse di questi mezzi per elaborare gli schemi di gioco e gli accorgimenti tattici più opportuni.

Venne anche rilevato che in ogni partita il professore piazzava sulle gradinate, circa sulla mezzaria del campo, ciò che sembravano due grosse cineprese.

Messo alle strette, il professore ammise che, con un paziente lavoro, aveva "schedato" in un calcolatore tutte le squadre che doveva affrontare: dalle caratteristiche dei singoli giocatori alle tattiche usate dagli allenatori. Aveva poi sviluppato un algoritmo che permetteva di correlare tutti questi dati e di definire ogni volta il da farsi. Le due cineprese servivano a filmare le partite per ricavarne informazioni supplementari da utilizzare nelle elaborazioni.

Naturalmente, malgrado le pressioni (e, si dice, anche le minacce) il professore mantenne il più assoluto segreto sul procedimento logico impiegato, sui parametri presi in considerazione e sui dati richiesti all'elaboratore.

Le ammissioni del professore diedero origine ad una frenetica attività degli ambienti calcistici per cercare di capire il meccanismo logico da lui adottato. Le più grandi squadre di calcio sovvenzionarono grossi esperti di informatica per svolgere ricerche in tale direzione, ed il CONI istituì una apposita commissione di studio, con congrua dotazione di fondi.

Tuttavia, malgrado gli sforzi degli avversari, l'Audax procedeva a rullo compressore, travolgendo inesorabilmente ogni ostacolo. Così era accaduto anche quest'anno: al suo primo arrivo in serie A, l'Audax era finita prima, col massimo punteggio assoluto. E il professore, che aveva ormai oscurato la fama di "mago" di Helenio Herrera, sorrideva seraficamente...

\* \* \*

Qualche giorno dopo la fine del campionato, il professore aveva ricevuto una telefonata da un suo ex-allievo, un brillante ingegnere elettronico con cui aveva mantenuto cordiali rapporti.

In modo un po' sibillino, il giovane chiedeva di andarlo a trovare per presentargli i risultati di una ricerca che, aveva detto, voleva mostrare esclusivamente a lui.

Il giovane era arrivato il giorno dopo e i due stavano ora accomodati in poltrona nell'ampio soggiorno tappezzato di libri fino al soffitto (il professore amava definire la sua casa "una biblioteca con servizi").

Avevano cominciato a chiacchierare del più e del meno, ma si capiva che il giovane era imbarazzato. Il professore ad un certo punto gli venne in aiuto:

"Allora – disse – parlami di questa tua ricerca".

Il giovane rimase ancora un momento titubante. Infine si decise, aprì la 24 ore che si era portato e mise sul tavolo un grosso pacco di fogli.

"Io ho seguito la storia dell'Audax dal momento in cui è cominciata – iniziò a dire – sia perché ho l'hobby del calcio, sia perché c'era in questa vicenda una persona che conosco e per cui nutro una grande stima...".

Il professore con un sorriso fece cenno di proseguire.

"In questi anni ho visto buona parte delle partite dell'Audax e ho cercato anch'io di scoprirne il segreto. A questo scopo ho cominciato a filmare i goal segnati dalla squadra per studiarli poi tranquillamente a tavolino. La cosa che più mi ha colpito nel rivedere le sequenze di gioco, è stato l' "effetto" che i giocatori riuscivano a dare alla palla. Una volta arrivato in una certa zona del campo, il pallone subiva come una correzione di rotta che lo portava inesorabilmente a finire nella rete avversaria. Come lei sa, di ciò si sono accorti in molti e ne hanno parlato ampiamente i giornali. D'altronde, è nell'esperienza di tutti che colpendo il pallone in modo opportuno, esso può seguire delle traiettorie bizzarre".

Il giovane prese dal tavolo un pacco di fogli su cui era incollata una lunga sequenza di fotogrammi relativi ad un goal segnato dall'Audax. Su ogni fotogramma erano tracciati gli assi di riferimento e le coordinate della palla, in modo da poter ricostruire con precisione, punto per punto, la traiettoria di quest'ultima.

"Ecco qui un esempio – disse porgendo i fogli al professore – Ho studiato queste traiettorie, impiegando i calcolatori che lei mi ha insegnato tanto bene ad usare. Si tratta in sostanza di risolvere un problema di balistica. Ho applicato le leggi della fisica, tenendo conto, nell'impostazione matematica, dei possibili effetti dovuti al modo con cui il pallone viene colpito. E questo è il risultato".

ìCosì dicendo estrasse dai documenti che aveva davanti un grosso fascicolo contenente l'output del calcolatore.

“Il fatto è – proseguì come parlando a sé stesso – che questa traiettoria, come tutte le altre che ho esaminato, non è solo bizzarra: essa **è semplicemente impossibile**”.

Gli occhi dei due si incrociarono: seri e perplessi quelli del giovane, arguti e sorridenti quelli del professore.

“Continua” - lo incoraggiò quest'ultimo.

“C'è una sola ipotesi per giustificare i fatti e cioè che, dopo essere stato calciato, altre forze siano state applicate al pallone per modificarne la traiettoria. Ho fatto dei calcoli su questa ipotesi – proseguì estraendo un altro pacco di elaborati – Tutto si spiegherebbe ammettendo che il pallone riceva una sequenza di impulsi di correzione, provenienti da due sorgenti diverse”.

Il professore ora sorrideva apertamente.

“Bravo! – disse - le mie congratulazioni!”

Rimase per qualche istante in silenzio, poi aggiunse:

“Tu meriti che ti spieghi il resto”.

E il professore svelò al giovane il segreto dell'Audax.

Si trattava di un vero e proprio segreto tecnologico. Il professore aveva infatti costruito un sofisticato sistema elettronico alloggiato nelle due pseudo cineprese che collocava sugli spalti degli stadi.

In ognuna delle scatole vi era, in sostanza, un potente calcolatore microminiaturizzato, una coppia di telecamere e due generatori di pacchetti di energia ad ultrasuoni. Le due scatole operavano in sincronismo, scambiandosi segnali via radio.

Le telecamere erano predisposte in modo da inquadrare un ampio spazio davanti alle due porte. Non appena il pallone entrava nel loro campo visuale, esso veniva riconosciuto e la sua presenza segnalata al calcolatore di controllo.

Da quel momento il pallone veniva “preso in carico” da questo calcolatore. Esso calcolava anzitutto la traiettoria ottimale per farlo finire in rete (se si trattava della porta avversaria), o per portarlo fuori bersaglio (se si trattava di quella dell'Audax).

La correzione della traiettoria veniva realizzata inviando sul pallone una sequenza di proiettili impalpabili e invisibili, costituiti da impulsi a ultrasuoni di opportuna potenza, durata e direzione.

Tali impulsi erano forniti dai generatori contenuti nelle due scatole e puntati convergentemente sulla porta interessata. Naturalmente la somministrazione degli impulsi era determinata in ogni dettaglio dal calcolatore, che teneva conto anche della posizione istantanea dei giocatori, per evitare di colpirli.

Tutto il sistema funzionava con precisione matematica “in tempo reale”, grazie alla fulminea velocità operativa degli elaboratori.

Il professore parlava ormai da parecchio tempo, illustrando la spiegazione con schizzi, grafici, simboli ed equazioni, con cui aveva riempito ormai un numero impressionante di fogli. Il giovane ingegnere pendeva dalle sue labbra, gli occhi brillanti per l'emozione, interrompendo spesso per chiedere dettagli e delucidazioni.

Alla fine il professore si alzò, prese dal cassetto una lettera e la porse al suo interlocutore.

"Tu ti chiederai ora come andrà a finire questa vicenda. Ecco la risposta: sono le mie dimissioni irrevocabili da allenatore dell'Audax. Credo di essermi divertito abbastanza. Ho fatto il *deus ex machina*, portando una squadretta di brocchi – bravi ragazzi, ma brocchi – dove mai sarebbe arrivata. Ora è tempo che tutto torni come è giusto che sia. Anche perché non vorrei – aggiunse sorridendo - che qualcun altro intelligente come te si accorgesse del trucco..."

\* \* \*

L'anno seguente l'Audax finì il campionato di serie A all'ultimo posto, con 4 goal segnati e 286 subìti. Più o meno lo stesso accadde negli anni successivi, finché la squadra rioccupò di nuovo il suo posto nell'ultima serie.