

# L'Intelligenza Artificiale tra Gödel e Turing

*Nicola Leone*

*Dipartimento di Matematica e Informatica  
Università della Calabria*

Il documento è una breve illustrazione della «Lectio Magistralis» che l'autore è stato invitato a tenere in occasione dell'inaugurazione dell'anno accademico 2016/2017 dell'Università della Calabria. Si spiega cosa è l'Intelligenza Artificiale (IA), al di là di miti e false credenze, si evidenziano i suoi forti legami con la Logica e si presentano brevemente alcune ricerche di Intelligenza Artificiale svolte nel Dipartimento di Matematica e Informatica dell'Università della Calabria.

Il titolo del contributo, richiamando due grandi logici del secolo scorso, intende sottolineare che l'Intelligenza Artificiale, e l'Informatica più in generale, è ben lungi dall'essere una disciplina meramente tecnologica, come viene spesso considerata; al contrario, essa è una scienza, basata su rigorosi fondamenti matematici, che ha fortissime correlazioni con la Logica e ha ricevuto contributi straordinari da Kurt Gödel e Alan Turing.

## **Cosa è l'Intelligenza Artificiale**

Per comprendere cosa è realmente l'Intelligenza Artificiale, e le sue potenzialità, è opportuno anzitutto sgombrare il campo da alcune errate interpretazioni e da aspettative esagerate, indotte nell'immaginario collettivo soprattutto dal cinema. L'Intelligenza Artificiale e la possibilità di costruire robot intelligenti hanno da sempre stimolato la creatività di scrittori e registi. Tra tutti ricordiamo, ad esempio, Stanley Kubrick e il suo capolavoro *2001 Odissea nello Spazio* (1968) e, più di recente, Steven Spielberg con *Artificial Intelligence* del (2001). Nel primo film «il computer acquisisce coscienza», nel secondo «il computer ha emozioni e sentimenti». È bene chiarire subito che questa è *Fantascienza, non Intelligenza Artificiale*.

Un'idea più appropriata di cosa sia l'Intelligenza Artificiale è fornita, tra gli altri, dal dizionario Merriam-Webster e dall'enciclopedia on-line Wikipedia: «Area dell'informatica che mira a simulare con l'utilizzo del computer il comportamento intelligente», «Abilità di un computer a svolgere funzioni e ragionamenti tipici della mente umana».

È bene precisare che il computer oggi è in grado di riprodurre solo forme piuttosto semplici del ragionamento della mente umana; la sua rapidità, tuttavia, gli consente di eseguirne così tante da ottenere comportamenti razionali e intelligenti. L'Intelligenza Artificiale utilizza forme di ragionamento e risolve i problemi in modo razionale, anche se non necessariamente come farebbe un uomo; ma, talvolta, l'efficacia dei suoi comportamenti supera perfino quella dell'uomo. È il caso del gioco degli scacchi dove, già nel 1997, il computer Deep Blue sconfigge il campione mondiale di scacchi, Garry Kasparov. La velocità e la grande memoria del computer fanno la differenza: Deep Blue, computer IBM Risk 2000, riesce infatti a valutare 200 milioni di mosse al secondo e conosce 600.000 aperture di partita.

L'Intelligenza Artificiale pervade ormai la vita quotidiana, i suoi risultati sono sotto i nostri occhi e ne beneficiamo ogni giorno, magari senza saperlo: dal robot aspirapolvere, al riconoscimento automatico dei volti nella macchina fotografica, alle autovetture 'self-driving' (senza conducente), ai telefoni con comando vocale, ai suggerimenti di Amazon sugli acquisti e di Google sulle ricerche, e ad altre numerose applicazioni.

## Logica e Intelligenza Artificiale

A questo punto sorge spontanea la domanda: come può un computer simulare il ragionamento umano? Ed è proprio qui che entra in campo la Logica. Nel 1958, il matematico John Mc Carthy, da molti considerato «padre» dell'Intelligenza Artificiale, comprende che lo sviluppo di macchine intelligenti richiede di formalizzare il ragionamento basato sul senso comune, suggerisce, a tal fine, l'impiego della Logica, evidenziandone le grandi potenzialità e i limiti, e auspica la definizione di nuovi linguaggi logici, che superino i limiti della logica classica. Mc Carthy conia il termine Intelligenza Artificiale e apre il settore di ricerca della Logica per la rappresentazione della conoscenza e del ragionamento, al fine di realizzare «Intelligenze Artificiali».

Ma come si utilizza la Logica oggi per produrre un ragionamento automatico nel computer? Anzitutto, il problema da risolvere viene attentamente analizzato individuando quali sono le caratteristiche delle soluzioni desiderate. Tali caratteristiche vengono poi espresse in formule logiche, i cui modelli corrispondono alle soluzioni del problema. Calcolando questi modelli si ottengono così automaticamente le soluzioni desiderate.

Per dare un'idea di un processo di ragionamento automatico consideriamo il problema della colorazione di una carta geografica con 3 gradazioni cromatiche, avendo come obiettivo la distinguibilità di ogni stato dagli altri<sup>1</sup>. Avendo a disposizione tre colori (rosso, verde e blu), bisogna colorare tutti gli stati, garantendo che stati limitrofi abbiano sempre colori distinti. La carta geografica viene fornita indicando stati e confini. Per la mappa degli Stati Uniti avremo, solo per fare un esempio:

*stato(california), stato(arizona), stato(nevada), ....*

*confina(california, arizona), confina(california,nevada), ....*

Le caratteristiche delle soluzioni desiderate possono essere espresse attraverso le due seguenti formule logiche<sup>2</sup>:

$$\forall X \text{ stato}(X) \rightarrow \text{colore}(X, \text{rosso}) \vee \text{colore}(X, \text{verde}) \vee \text{colore}(X, \text{blu})$$

$$\forall X, Y, C \text{ confina}(X, Y) \wedge \text{colore}(X, C) \wedge \text{colore}(Y, C) \rightarrow \perp$$

La prima formula, facilmente comprensibile a chi possiede le conoscenze di base della Logica, specifica che, nella soluzione del problema, ogni stato è colorato di rosso, verde o blu; la seconda che gli stati limitrofi hanno colori diversi. I computer muniti di sistemi software in grado di valutare queste formule logiche, risolvono «autonomamente» il problema, senza l'intervento di un programmatore che debba specificare al computer il metodo da eseguire. Si realizza così una forma di ragionamento automatico nel computer e questi software, molto sofisticati e complessi, sono chiamati *Sistemi di Intelligenza Artificiale*.

## Fondamenti Teorici dell'Intelligenza Artificiale

L'Intelligenza Artificiale si basa su solidi fondamenti matematici, che consentono di investigarne rigorosamente le proprietà. Negli studi fondamentali più importanti della disciplina, rientrano le ricerche sulla *computabilità* e sulla *complessità computazionale* dei problemi di Intelligenza Artificiale. Senza addentrarsi nei risultati specifici, che risulterebbero troppo complessi, si fornisce un breve cenno a questi due importanti ambiti di ricerca.

La *Teoria della Computabilità* (o Decidibilità), che fonda le sue basi sui risultati dei logici Alan Turing e Kurt Gödel, sopra menzionati, pone una domanda chiave per l'Informatica:

*«Quali problemi sono risolvibili con il computer?»*

---

<sup>1</sup> Il problema, noto come 3-colorabilità in Informatica, a dispetto dell'apparente semplicità, è intrinsecamente complesso e trova numerose applicazioni nel mondo reale.

<sup>2</sup> La formulazione logica fa riferimento al paradigma «Answer Set Programming», pur usando la sintassi della Logica Classica.

La potenza dei moderni mezzi di calcolo, che risolvono in un lampo anche problemi molto complessi, indurrebbe a pensare che un computer, munito di adeguate risorse di calcolo e di memoria, sarebbe in grado di *risolvere qualunque problema*, avendo il tempo necessario. Lo scienziato Alan Turing nel 1936 riuscì a confutare con certezza questa tesi. Coniugando mirabilmente recenti risultati ottenuti dal logico austriaco Kurt Gödel e l'antico *paradosso del mentitore*, formulato dal filosofo greco Epimenide<sup>3</sup>, dimostrò l'esistenza di problemi che nessun computer, nemmeno il più potente, potrà mai risolvere.

Ricerche fondamentali della disciplina analizzano la computabilità dei problemi di rilievo per l'Intelligenza Artificiale, dimostrando sia risultati positivi (i problemi sono risolvibili dal computer) che negativi.

Dimostrare la computabilità del problema da affrontare è un passo importante, ma non sufficiente a garantirne l'effettiva trattabilità. Cosa fare, dunque, se il problema, seppur computabile, richiede mille anni di elaborazione al computer per trovare la soluzione? Ai fini pratici, un tal problema è come se non fosse computabile affatto nella realtà.

La *Teoria della Complessità Computazionale* si occupa di questo aspetto e pone un'altra domanda fondamentale per l'Informatica:

«*Quanto tempo è necessario per risolvere un dato problema con il computer?*»

Attraverso le rigorose tecniche di questa teoria, viene analizzata la difficoltà intrinseca dei problemi più significativi che emergono nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale, stimando quanto tempo è necessario per risolverli e classificandoli in due categorie: quelli che sono effettivamente trattabili e quelli che non lo sono.

## **Il Sistema di Intelligenza Artificiale DLV**

Le ricerche svolte all'Università della Calabria coprono ampi settori dell'Intelligenza Artificiale: dal campo che si occupa di Logica e Rappresentazione della Conoscenza di cui si è parlato, a quello relativo al Ragionamento Induttivo, con tecniche basate sulla statistica e l'apprendimento automatico, fino agli aspetti più tecnologici della disciplina.

In particolare, le ricerche sui linguaggi logici per la rappresentazione della conoscenza hanno inizio già negli anni Ottanta nell'ateneo, per opera del prof. Domenico Saccà, oggi decano e prorettore dell'Unical, che studia l'utilizzo di tali linguaggi come potenti strumenti per l'interrogazione delle basi di dati. Le indagini sono proseguite negli anni evolvendosi in varie direzioni in diversi dipartimenti dell'Unical. Oggi il Dipartimento di Matematica e Informatica è molto attivo nello studio dei linguaggi logici per l'Intelligenza Artificiale, proprio nell'accezione suggerita da John Mc Carthy colui che, come sopra ricordato, per primo ha teorizzato l'uso della Logica per la rappresentazione della conoscenza e del ragionamento.

Tra le ricerche svolte dal gruppo di Intelligenza Artificiale del Dipartimento di Matematica e Informatica, sono senz'altro i risultati teorici ottenuti su computabilità, complessità e algoritmi per l'Intelligenza Artificiale, i contributi di maggior rilievo scientifico, come attestato dai numerosi riconoscimenti della comunità scientifica. D'altra parte, il contributo che ha reso popolare questo gruppo di ricerca nella comunità internazionale del settore è, senza ombra di dubbio, il sistema di Intelligenza Artificiale DLV, che è stato sviluppato e poi impiegato per realizzare vere e proprie applicazioni «intelligenti» nel mondo reale. DLV è un sistema finalizzato alla rappresentazione della conoscenza e al ragionamento automatico, ideato e realizzato all'Università della Calabria nell'ambito di una collaborazione internazionale con la *Technische Universität Wien*. Il linguaggio di DLV, molto innovativo e potente, è basato sulla Logica. Ad esempio, il problema della colorazione di una carta geografica, che è stato illustrato in precedenza, viene risolto molto facilmente con DLV. Questo sistema oggi è largamente diffuso e viene utilizzato in università e centri di ricerca di

---

<sup>3</sup> Epimenide, cretese, affermò che i cretesi sono bugiardi, diceva la verità ?

tutto il mondo; la tecnologia di DLV è stata usata anche al CERN di Ginevra e sperimentata alla NASA, per pianificare le manovre a terra delle navette spaziali.

Nel quadro delle attività di trasferimento tecnologico dell'ateneo, è attualmente in corso l'ingegnerizzazione del sistema DLV ad opera di due spin-off accademici, DLVSystem ed Exeura, da cui è stato già impiegato con successo per applicazioni industriali in svariati domini applicativi: *e-Tourism*, *Intelligent Call Routing*, *Workforce-management*, *Intelligent Information Extraction*, e altre ancora. Grazie al valore aggiunto da DLV, sono state realizzate applicazioni con caratteristiche «intelligenti» e altamente innovative. L'applicazione su *Intelligent Call Routing*, ad esempio, effettua l'istradamento automatico delle chiamate ricevute da un call-center, assegnando, in modo intelligente, ogni utente all'operatore in grado di rispondere meglio alle sue richieste, in base alle caratteristiche del cliente, alla storia delle chiamate precedenti, alla zona geografica, e via dicendo. Questa applicazione è attualmente in uso presso i call-center di Telecom Italia e gestisce oltre 400 chiamate al secondo; al tempo stesso essa riduce i costi per Telecom e migliora il servizio per gli utenti.

## Conclusioni

L'Intelligenza Artificiale ha ormai pervaso la società moderna e lo farà sempre più in futuro. Lo confermano anche i dati economici, che attestano un'enorme crescita del mercato dell'Intelligenza Artificiale: ha raggiunto circa 8 miliardi di dollari nel 2016, con una previsione di crescita annuale del 55% nei prossimi anni, e supererà 47 miliardi di dollari entro il 2020 (dati della *International Data Corporation*).

Ciò nonostante, sebbene l'utilizzo quotidiano di strumenti che incorporano «Intelligenze Artificiali» sia ormai universalmente diffuso, spesso inconsapevolmente, solo pochi conoscono i principi alla base di queste tecnologie. Sarebbe, invece, opportuno, che la conoscenza su principi e metodi dell'Intelligenza Artificiale e dell'Informatica fosse capillarmente divulgata.

La diffusione pervasiva delle tecnologie informatiche e «intelligenti» è ormai ineluttabile, *può essere subita passivamente o governata*. Se la maggior parte delle persone continua a ignorare queste discipline, ne diventa succube impotente, rischia di subire abusi, frodi e manipolazioni. Se si acquisisce, invece, la conoscenza dei principi e metodi di queste scienze, si avrà una piena padronanza dei moderni strumenti, e saremo in grado di governare le nuove tecnologie traendone massimo beneficio.

L'Intelligenza Artificiale, e più in generale l'Informatica, è molto importante non solo nelle applicazioni che tutti usiamo nella vita quotidiana, ma anche come *strumento di pensiero e ragionamento*. È una *disciplina fondamentale e trasversale* al tempo stesso, e anche per questo è cruciale diffondere la conoscenza dei suoi aspetti culturali e scientifici.

L'introduzione dell'insegnamento del *Pensiero Computazionale*, previsto dalla legge su "La Buona Scuola", è un passo avanti in questa direzione. Ma serve a poco se non è sostenuta e accompagnata da un significativo investimento in risorse umane che punti sugli insegnanti, principali artefici dell'istruzione dei giovani. È necessario un piano per la formazione e l'aggiornamento dei docenti, il potenziamento degli organici delle scuole con il reclutamento di esperti qualificati, nonché il rafforzamento della sinergia tra scuola e università. E ciò è opportuno per la trasmissione dei saperi e quindi per la società in generale.

Concludendo, l'Intelligenza Artificiale non deve produrre distorsioni o mostri, come nei film di fantascienza, ma aiutare l'uomo a dispiegare proficuamente le sue facoltà e capacità, coadiuvandolo, o anche sostituendolo (in particolare nei compiti più umili e degradanti), per arrivare a un mondo migliore in cui ingiustizie e disuguaglianze siano quanto più possibile ridotte e, auspicabilmente, eliminate.

### **Biografia dell'autore**

Nicola Leone è Professore Ordinario di Informatica presso l'Università della Calabria dall'Ottobre del 2000; precedentemente, dal 1995 al 2000, ha prestato servizio in Austria presso la *Technische Universität Wien*. Ricopre i ruoli di Direttore del Dipartimento di Matematica e Informatica e di Coordinatore del Dottorato di Ricerca in Matematica e Informatica. Le sue ricerche spaziano dall'Intelligenza Artificiale alle Basi di Dati, con particolare riguardo alle Logiche per la Rappresentazione della Conoscenza e del Ragionamento. Ha ideato il sistema di intelligenza artificiale DLV, oggi utilizzato in Università e Centri di Ricerca di tutto il mondo. Ha fondato 3 aziende spin-off: DLVSystem, Exeura e Artémat. Ha ricevuto prestigiosi premi scientifici, quali “Mendelzon Test-of-Time Award” (Providence NY, USA, 1999), “ECCAI Fellowship” (Montpellier, Francia 2012), “Best Paper Award - International Logic Programming Conference” (Cork, Irlanda, 2015), “Gems of PODS” (San Francisco, California, USA, 2016). È “Area Editor” della rivista “Theory and Practice of Logic Programming” (Cambridge University Press) per il settore “Knowledge Representation and Nonmonotonic Reasoning”, nonché membro del comitato editoriale della rivista “Intelligenza Artificiale” (IOS Press). Le oltre 250 pubblicazioni del prof. Leone, citate in più di 9.000 articoli scientifici, con un H-Index pari a 49, hanno fatto sì che il docente dell'Unical fosse incluso nella classifica dei migliori scienziati italiani, stilata dalla Via Academy.