

Percorso tematico per l'esame di Stato
Anno scolastico 2004/2005
Corso sperimentale PNI sezione E

INTELLIGENZA ARTIFICIALE

L'aritmetica è la capacità di contare fino a venti senza togliersi le scarpe.

-- Topolino

INDICE

Cenni storici e definizioni	p. 2
Il dibattito filosofico	p. 4
Reti neurali e applicazioni	p. 6
Il limite invalicabile per l'I.A.	p. 8
Automati e robot	p. 10
Conclusione	p. 12
Note	p. 13
Bibliografia	p. 18

CENNI STORICI E DEFINIZIONI

Il primo tentativo di creare una macchina intelligente fu di **Alan Turing**, grande matematico e pioniere dell'informatica. Egli nel suo saggio del 1950 *Macchine calcolatrici e intelligenza*, che si occupava della possibilità dell'esistenza del pensiero nelle macchine, espose un esperimento mentale per poter definire una macchina 'intelligente', passato alla storia come *test di Turing*¹.

Si è soliti far coincidere la data di nascita della **Intelligenza Artificiale** (da qui in poi **I.A.**) con la data (1956) in cui si svolse uno storico seminario interdisciplinare con lo scopo di

“far fare alle macchine delle cose che richiederebbero intelligenza se fossero fatte dagli uomini”

(AA. VV., *Semantic Information Processing*, Mit Press)

Il termine venne coniato da un giovane professore di matematica, **John McCarthy**, nell'ottica di trovare un'etichetta accattivante per ottenere il finanziamento del seminario.

“Proponiamo che uno studio (di due mesi, con dieci uomini) dell'intelligenza artificiale venga condotto durante l'estate del 1956 al Dartmouth College di Hannover, New Hampshire. Lo studio procederà sulla base della congettura che, in linea di principio, ogni aspetto dell'apprendimento o di qualsiasi altra caratteristica dell'intelligenza possa venir descritto in modo così preciso da mettere una macchina in grado di simularlo”

(Richiesta per il finanziamento del seminario)

Da questo convegno nacque la necessità di definire correttamente cosa si intende con I.A. e di stabilirne pretese e limiti.

Oltre a un punto di vista prettamente ingegneristico che mira a rendere i computer abili in diversi comportamenti intelligenti senza preoccuparsi di cosa ciò comporterebbe nello studio della mente, esiste una visione più interessante che affida alla disciplina scopi scientifico-conoscitivi a favore della psicologia e della filosofia. Secondo questa visione, **John Searle** distinse una concezione *debole* da una concezione *forte* dell'I.A..

La **definizione debole** concepisce l'I.A. come uno strumento per verificare sperimentalmente ipotesi psicologiche o per effettuare con efficienza un dato compito, senza la pretesa di definire i processi creati veri e propri processi mentali.

La **definizione forte**, che è la definizione da cui la disciplina prese inizio, dichiara che un computer programmato *ad hoc* per simulare determinate reti di processi mentali è da considerare a tutti gli effetti una mente.

IL DIBATTITO FILOSOFICO

Molti filosofi favorevoli alla concezione *debole*, tra i quali lo stesso Searle e **Hubert Dreyfus**, affermarono che l'intelligenza artificiale non è una vera e propria intelligenza, come invece la formulazione del *test di Turing* poteva far pensare.

John Searle ideando un contro-test, detto *test della stanza cinese*², dimostrò che l'attività di un computer, fino a quando si limita ad essere manipolazione formale di simboli, priva di percezione del loro significato, non può essere definita attività intelligente, anche se esteriormente appare tale. Un computer non può essere assimilato al concetto di mente in quanto privo di coscienza e intenzionalità.

Hubert Dreyfus afferma che alla base della I.A. *forte* è posto un concetto di mente assolutamente errato, ovvero una mente che è un dispositivo calcolatore che utilizza dati discreti e atomici attraverso regole precise e passi distinti. Questa mente non coincide con quella umana che è *olistica*, cioè coglie le parti nella totalità, e *situazionale*, ovvero organizza il mondo fenomenico secondo significati legati a interessi e finalità che derivano dai bisogni materiali:

“una data situazione di un essere umano dipende dai suoi obiettivi, i quali, a loro volta, sono in funzione del corpo e dei suoi vari bisogni [...] questi bisogni non vengono stabiliti una volta per sempre, ma vengono interpretati e determinati attraverso l'acculturazione”

(Che cosa non possono fare i computer, Armando, Roma 1998, p. 387)

Inoltre l'intelligenza umana implica un *senso comune* che guida l'interpretazione del mondo. Proprio per questo, conclude Dreyfus, non è possibile definire un computer intelligente quanto l'uomo perché la macchina è entità senza corpo, quindi non è in situazione, e perché è impossibile includere il *senso comune*, essendo formato da credenze non oggettivabili.

Le difficoltà riscontrate utilizzando una definizione *forte* dell'I.A. portarono al crollo del paradigma funzionalista. Il **funzionalismo** afferma che gli eventi mentali, essendo caratterizzati da funzioni, sono indipendenti dal substrato fisico, quindi dal cervello. Di conseguenza nasce l'analogia *mente-computer* ovvero la mente (strumento di manipolazione formale di simboli) risiede nel cervello tanto quanto il *software* risiede e utilizza l'*hardware*. Semplificando:

mente : cervello = software : hardware

Quindi, affermano i funzionalisti, è possibile scrivere un programma *ad hoc* da far *girare* su un computer per *simulare* la mente, ovvero creare a tutti gli effetti una mente per nulla differente da quella umana.

Alla fine del funzionalismo segue la nascita del **connessionismo**, dottrina che afferma l'importanza della conformazione del cervello instaurando un collegamento inscindibile tra mente e cervello. Con buona approssimazione si può affermare:

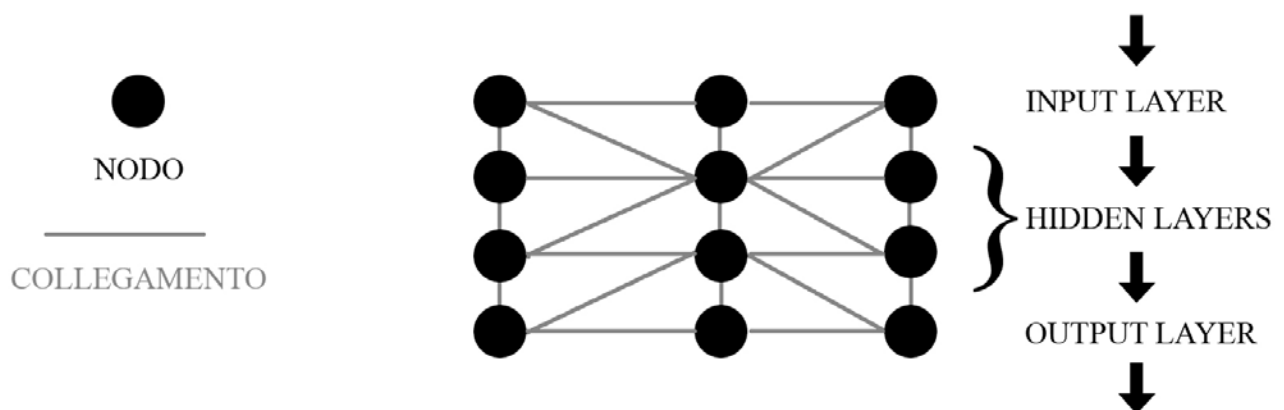
mente = cervello

La ricerca del connessionismo ha portato all'invenzione di metodi di ricerca (sistemi dinamici non lineari, sistemi di elaborazione parallela distribuita) che mirano a ricreare l'intelligenza attraverso le *reti neurali*.

RETI NEURALI E APPLICAZIONI

Una rete neurale è un sistema computazionale (ovvero svolge delle operazioni sui numeri) che trae ispirazione dal modello del cervello umano. Esso può essere infatti considerato una fitta rete di neuroni che a livello individuale operano in maniera molto semplice, ovvero se la somma aritmetica di tutti gli impulsi (positivi o negativi) che giungono in entrata supera un determinato valore, il neurone *scarica*, altrimenti rimane in quiete. Nonostante la semplicità delle operazioni dei neuroni, essi infatti, in sintesi, possono solo assumere un valore pari a 0 (non scarica) o 1 (scarica), è evidente la complessità dei ragionamenti che il cervello permette di effettuare. Ciò è possibile in quanto in una rete organizzata di neuroni i collegamenti, le sinapsi, affidano un peso diverso ai segnali, e le sinapsi stesse sono dinamiche, cioè nell'apprendimento vengono modificate continuamente, rafforzate, indebolite, distrutte o create nuovamente.

Data la semplicità dei neuroni, non è complesso implementare in un computer un simile modello. Proprio come nel cervello, i singoli neuroni artificiali, chiamati **nodi**, sono collegati tra loro in diversi livelli e secondo diverso peso; un operatore, o la macchina stessa in casi di *allenamento*³, può modificare il peso e la complessità dei livelli.



(Schema di una rete neurale)

Un'altra caratteristica completamente rivoluzionaria mutuata dal cervello è il calcolo in parallelo. Infatti il cervello di un uomo quando ragiona non esegue una singola operazione per volta, ma un numero molto elevato di operazioni, e sebbene tale numero sia finito non è possibile comprendere quale sia predominante. Così nella neurocomputazione non è possibile stabilire in un determinato

istante quale informazione sia elaborata dal processore, mentre in un normale computer che esegue operazioni in serie è facilmente deducibile.

In alcuni casi i *modelli matematici*⁴ sono necessariamente sostituiti da una rete neurale, ad esempio quando il modello risulterebbe troppo complicato e quindi inefficiente. Una rete neurale può infatti cogliere da una grande massa di dati, anche dotati di *rumore* (cioè informazioni esterne al particolare studio che si sta effettuando o informazioni rovinare), delle regolarità e dopo un corretto allenamento giungere a previsioni corrette. La caratteristica di una rete neurale, oltre all'apprendimento e alla resistenza alla presenza di rumore (*fault-tolerance*), è la *gentle-degradation*, cioè il deterioramento graduale della struttura fisica. Se alcuni nodi vengono distrutti l'efficienza della rete non diminuisce se non di un minimo decremento.

Questi sistemi trovano largo impiego, accanto all'evidente simulazione del cervello umano, sebbene con notevoli difficoltà per l'elevato numero dei collegamenti, in campo economico per previsioni, nel riconoscimento di firme, suoni o immagini, nella diagnosi di patologie e meteorologia.

IL LIMITE INVALIDICABILE PER L'I.A.

Può sembrare strano, ma conosciamo già i limiti dell'I.A. e sono conseguenza del *teorema di Gödel*, espresso nel 1931 nel saggio *Sulle proposizioni formalmente indecidibili dei Principia mathematica e di sistemi affini*. Egli dimostrò che in ogni sistema è possibile formulare proposizioni che all'interno dello stesso sistema non possono essere dimostrate né contraddette. Una dimostrazione del teorema è la seguente, per un sistema la cui consistenza (un sistema è consistente se non è contraddittorio) discenda dal fatto che ogni suo teorema è vero:

“Una formula che dice di se stessa di non essere dimostrabile non può essere dimostrabile, altrimenti il sistema proverebbe una falsità. Non essendo dimostrabile, e dicendo appunto di non esserlo, essa è dunque vera. Allora la sua negazione è falsa, e dunque anch'essa non è dimostrabile.

Il sistema non è quindi completo, perché non decide tale formula.”

(Piergiorgio Odifreddi, *Gödel e l'I.A.*, nota 19)

Ovvero affinché il sistema sia consistente è necessario che ogni sua formula sia vera. Una formula che afferma di non essere dimostrabile, perché rimanga la condizione di consistenza del sistema, deve essere vera, cioè non dimostrabile. Se è vera, la sua negazione deve essere falsa. La negazione è che la formula è dimostrabile, ma se la negazione è falsa, significa che anche la negazione non è dimostrabile, di conseguenza poiché sia l'affermazione che la negazione non sono dimostrabili, non è possibile decidere la verità o la falsità della formula.

FORMULA	AFFERMAZIONE	NEGAZIONE
<i>“non è dimostrabile”</i>	non dimostrabile	dimostrabile
CONDIZIONE	↓ VERO	↓ FALSO
RISULTATO	↓ non dimostrabile	↓ non dimostrabile

(Schema del ragionamento di Gödel)

Un ragionamento analogo è quello del paradosso del mentitore:

“Epimenide afferma: « io sto mentendo »”

Se Epimenide dice il vero allora significa che mente, cioè dice il falso, ma se dice il falso, significa che non mente, quindi dice il vero, e così via. Si giunge cioè all'impossibilità di decidere.

Nel caso dell'I.A., tutto ciò comporta che un computer tecnologicamente avanzato, dotato di un potenziale di apprendimento enorme, non sarà mai onnipotente e onnisciente, poiché vi saranno formule che potrà enunciare, ma non decidere:

“Immaginiamoci un gigantesco computer. Un computer in cui abbiamo inserito l'intero sapere umano e tutti i suoi metodi. Che contenga in particolare tutti i dati matematici e tutti i metodi dimostrativi. Che conosca l'aritmetica, la geometria e tutto il resto. Questo computer non resta immobile nel suo sapere, ma con le conoscenze a sua disposizione e i metodi a lui noti produce nuovo sapere. Nuovo sapere che può sfruttare a sua volta per ottenere nuove conoscenze. E via di questo passo. Una prospettiva terrificante? Può darsi. Ma una cosa è certa: neanche un siffatto computer saprà mai tutto. Perché ci sono proposizioni, afferma il teorema di Gödel, che questo computer può formulare, ma delle quali non è in grado di provare la validità.”

(Albrecht Beutelspacher, *Matematica da tasca, dall'abaco allo zero*, Ponte alle Grazie, pp. 44-45)

AUTOMI E ROBOT

La possibilità di creare degli automi, cioè macchine che effettuino con efficienza lavori prestabiliti, è evidente, si pensi solo alle recenti apparecchiature casalinghe o al robot ASIMO da poco presentato (3 maggio 2005) all'Università Bocconi di Milano. Ciò che è un miraggio lontano è la possibilità di infondere coscienza e senso comune negli automi. Tale possibilità è solo prerogativa della letteratura.

Isaac Asimov⁵ fu il primo scrittore a trattare i robot come sofisticati automi inventati e prodotti da ingegneri e matematici *roboticisti*, eliminando la concezione di creature ribelli al creatore pervenuta dal *Frankenstein* di Mary Shelley, mutuata a sua volta dall'idea del *golem*⁶, mostro di argilla dotato di vita grazie alla parola divina, potente alleato, ma distruttivo.

Lo scrittore affermava:

*“In the 1920's science fiction was becoming a popular art form for the first time [...] and one of the stock plots [...] was that of the invention of a robot [...] Under the influence of the well-known deeds and ultimate fate of Frankenstein [...] there seemed only one change to be rung on this plot - robots were created and destroyed their creator [...] I quickly grew tired of this dull hundred-times-told tale [...] Knowledge has its dangers, yes, but is the response to be a retreat from knowledge? [...] I began in 1940, to write robot stories of my own - but robot stories of a new variety [...] My robots were machines designed by engineers, not pseudo-men created by blasphemers”*⁷

(Isaac Asimov, *The Rest of the Robots*)

Tale insofferenza verso la *sindrome di Frankenstein* viene espressa in numerose situazioni dai *roboticisti* che si lamentano della paura dell'uomo comune che un automa possa ribellarsi, avvenimento impossibile.

Asimov, infatti, si assicurò che gli uomini non fossero danneggiati dalle azioni dei robot, grazie alle tre leggi della robotica, puro espediente letterario privo di realizzabilità, dotate di sufficiente ambiguità in situazioni limite per poter inventare nuove avventure per i protagonisti.

“First Law: A robot may not injure a human being, or, through inaction, allow a human being to come to harm.

Second Law: *A robot must obey orders given it by human beings, except where such orders would conflict with the First Law.*

Third Law: *A robot must protect its own existence as long as such protection does not conflict with the First or Second Law.”* ⁸

(Isaac Asimov, *I, Robot*)

Nella finzione queste leggi sono immesse direttamente a livello *hardware* nei cervelli *positronici* dei robot e, per garantire la massima sicurezza, esiste un'unica azienda che detiene il monopolio della costruzione di queste sofisticate macchine.

L'espedito che permette allo scrittore di creare nuove storie dipende raramente da un errore di costruzione dei robot e se non in pochi racconti, la maggior parte delle volte l'errore dipende dagli uomini e dal modo di impartire gli ordini, spesso ambiguo o dotato di una carica emotiva troppo elevata; altre volte sono le leggi della robotica ad essere interpretate dagli automi in maniera troppo severa, come nel caso della novella *Liar!* (da *I, Robot*) in cui un robot dotato dell'eccezionale capacità di leggere la mente degli uomini afferma invece della verità ciò che l'uomo vuole sentire, poiché non esiste solo il danno fisico, ma anche quello psicologico che deriva dalla disillusione di un'aspettativa, e secondo la prima legge l'automa non può danneggiare un essere umano, quindi affermare una verità che potrebbe non essere quella desiderata.

Il robot viene sempre visto come macchina, e la superiorità dell'uomo è sempre affermata, tanto che le novelle si risolvono sempre grazie ad una intuizione dei *roboticisti* o della *robopsicologa* Susan Calvin, colei che studia la psicologia dei robot o per meglio dire quei ragionamenti robotici che non dipendono da calcoli matematici, ma dall'interpretazione delle tre leggi della robotica.

CONCLUSIONE

Nonostante gli entusiasmi iniziali, l'I.A. ha trovato fin dall'inizio notevoli difficoltà, tanto che si è giunti ad accettare, se non per rari casi, la concezione *debole*. Solo la letteratura è l'ambiente in cui l'I.A. *forte* può essere considerata.

I limiti dell'I.A. sono stati definiti, oltre che dal dibattito filosofico e dal riscontro empirico, dal teorema di Gödel che vieta l'esistenza di un computer onnisciente e onnipotente, relegando alla fantasia tale possibilità.

Come spesso avviene, la ricerca ha però permesso all'uomo di trovare nuovi strumenti, quali le reti neurali, per ambiti diversi da quelli prefissati costituendo un notevole miglioramento in una fascia di discipline che spazia dalla medicina alla meteorologia.

NOTE

- 1 – Il *test di Turing* è un test comportamentale che consiste nell'interazione *cieca*, cioè senza la possibilità di vedere con chi si dialoga, di un operatore esperto e una macchina. Se l'operatore esperto non è in grado di capire se sta interagendo con un computer o con un essere umano, la macchina ha passato il test e quindi è da considerare a tutti gli effetti intelligente e pensante. In particolare il test si svolge in questo modo:

“Un essere umano A è libero di formulare delle domande ad un altro essere umano B e ad un computer C al fine di indovinare chi dei due è il computer. Viene assegnato a B il compito di cercare di rispondere sinceramente, senza fingersi un computer, mentre al computer C viene assegnato il compito di spacciarsi per un essere umano. Al fine di non pregiudicare la scelta di A con elementi estranei, si assume (1) che A non aveva precedentemente incontrato né B, né C e (2) che A non vede e non comunica verbalmente con B e C, ma formula le domande e riceve le risposte attraverso una telescrivente. Se C è in grado di ingannare A, o quanto meno se A non è in grado di operare una scelta, allora C passa il test.”

(Francesco Orilia, *Intelligenza artificiale e proprietà mentali*, Nuova civiltà delle macchine n° 2, 1992)

- 2 – Il *test della stanza cinese* fu ideato da Searle per dimostrare che un computer che ha passato correttamente il *test di Turing* non può essere considerato pensante, poiché ha semplicemente svolto un'operazione formale su ciò che gli veniva consegnato, mentre le istruzioni erano date nel suo linguaggio informatico. A tutti gli effetti il computer ha *manipolato* le parole secondo un determinato programma senza *comprendere* il loro senso.

“Supponiamo che io sia chiuso dentro una stanza e che mi si dia una serie di fogli scritti in cinese. Supponiamo inoltre (come infatti è il caso mio) che non conosca il cinese, né scritto né parlato, e che non sia nemmeno fiducioso di poter riconoscere uno scritto cinese in quanto tale, distinguendolo magari dal giapponese o da scarabocchi senza senso. Per me la scrittura cinese è proprio come tanti scarabocchi senza senso. Ora supponiamo ancora che, dopo questo primo esperimento, mi si dia un pacco di fogli, sempre scritto in cinese, insieme con una serie di regole per mettere in relazione il secondo plico con il primo. Le regole sono in inglese e io capisco queste regole come qualunque altro inglese di madrelingua. Esse mi

rendono possibile mettere in relazione una serie di simboli formali con un'altra serie di simboli formali [...] Ora supponiamo anche che mi si dia una terza serie di simboli cinesi con le relative istruzioni, sempre in inglese, che mi rendano possibile correlare elementi di questo terzo pacco con i primi due, e che queste regole mi istruiscano su come riprodurre certi simboli cinesi con certe forme datemi nel terzo plico. A mia insaputa, le persone che mi danno tutti questi simboli chiamano il primo pacco di fogli 'uno scritto', chiamano il secondo 'una storia' e il terzo 'quesiti'. Inoltre chiamano i simboli che rendo loro in risposta al terzo plico 'risposte alle domande', e la serie di regole in inglese che mi hanno dato la chiamano 'il programma'. Ora, proprio per complicare un po' la storia, immaginiamo che queste persone mi diano pure delle storie in inglese, che mi facciano domande in inglese su queste storie, e io renda loro le risposte in inglese. Supponiamo anche che io diventi così bravo nel seguire le istruzioni per manipolare i simboli cinesi e che i programmatori diventino così bravi nello scrivere i programmi che dal punto di vista esterno – cioè dal punto di vista di qualcuno al di fuori della stanza nella quale sono chiuso – le mie risposte alle domande assolutamente non si distinguano da quelle di cinesi madrelingua. Supponiamo pure che le mie risposte alle domande in inglese siano, come senza dubbio sarebbero, non distinguibili da quelle di altri inglesi nativi, per la semplice ragione che io sono madrelingua inglese. Dal punto di vista esterno – dal punto di vista di qualcuno che legge le mie risposte – le risposte alle domande in cinese e a quelle in inglese sono egualmente buone. Ma nel caso del cinese, diversamente da quello dell'inglese, produco le risposte col manipolare simboli formali non interpretati. Per quanto riguarda il cinese, mi comporto semplicemente come un computer: eseguo operazioni calcolabili su elementi formalmente specificati. Per il caso del cinese, io sono semplicemente una istanziazione di un programma del computer.”

(John Searle, *Menti cervelli e programmi. Un dibattito sull'intelligenza artificiale*, CLUP-CLUEB, Milano 1984, pp. 48-49)

- 3 – Si dice che un programma è in *allenamento* quando gli vengono forniti dei dati di prova in modo tale che *impari* a porre le corrette associazioni e una volta che gli vengono forniti dei dati differenti da quelli di prova sia in grado di associarli correttamente con la minima percentuale d'errore.
- 4 – Un modello matematico è l'insieme delle relazioni necessarie per effettuare una corretta previsione teorica di un fenomeno dati dei determinati valori in entrata. Poiché nella maggior parte delle volte si riferisce a fenomeni fisici, un modello matematico è semplificato rispetto al

fenomeno stesso, comportando una minore precisione, ma uno studio più agevole, conoscendo la percentuale d'errore del modello rispetto alla realtà.

- 5 – Isaac Asimov nacque il 2 gennaio 1920 nella città di Petrovichi, nell'odierna Russia. Nel 1923 si trasferì con la famiglia a New York e rimase negli Stati Uniti per tutta la sua vita. Ottenne una laurea in Chimica, Filosofia e un Ph. D. in Biochimica. In seguito a tale dottorato intraprese l'attività accademica che poi abbandonò per dedicarsi a tempo pieno alla letteratura fantascientifica e alla divulgazione scientifica. Nel 1989 contrasse l'AIDS in seguito ad una trasfusione di sangue infetto e non rivelò mai al pubblico tale informazione, tanto che quando morì nel 1992 si disse che fu a causa di una crisi cardiaca. Solo nel 2002 la moglie rivelò la verità. Insignito di 14 dottorati *ad honorem*, con oltre quattrocento opere è ritenuto l'autore di letteratura fantascientifica più grande mai esistito.
- 6 – L'origine della leggenda del *golem* ha radici molto lontane nel tempo. Il termine appare per la prima volta nella *Bibbia* (*antico Testamento*, Salmo 139, 16) ad indicare una massa ancora priva di forma. Nella leggenda il *golem* prende vita grazie al nome di Dio o da altre lettere con significato particolare, secondo la concezione della *Kabbala* per la quale la creazione del mondo è avvenuta per emanazione dal nome divino. Tali lettere vengono o impresse sulla fronte o scritte su un foglio posto nella bocca della creatura. Cancellando tali lettere o togliendo il foglio la creatura perisce. Nella tradizione il *golem* ha assunto diversi ruoli nelle leggende, da fedele servitore domestico e difensore del suo padrone, a difensore degli ebrei nella persecuzione, fino al moderno *Frankenstein* e agli automi.
- 7 – “Negli anni venti la fantascienza era diventata per la prima volta una forma letteraria popolare [...] e una delle trame comuni [...] era quella dell'invenzione di un robot [...] Sotto l'influenza delle famose azioni e del destino ultimo di Frankenstein [...] sembrava che esistesse solo un cambiamento da apportare in questa trama per renderla più interessante – i robot che venivano creati distruggevano il loro creatore [...] Mi stancai rapidamente di questa storia noiosa e raccontata centinaia di volte [...] La conoscenza ha certamente i suoi pericoli, ma allontanarsi da lei è la risposta corretta? [...] Iniziai nel 1940 a scrivere storie di robot per mio conto – storie di robot di un nuovo tipo [...] I miei robot erano macchine progettate da ingegneri, non pseudo-uomini creati da blasfemi”

(Isaac Asimov, *Il secondo libro dei Robot*)

8 – **Prima Legge:** *Un robot non può recare danno agli esseri Umani, né può permettere che, a causa del suo mancato intervento, gli esseri Umani ricevano danno.*

Seconda Legge: *Un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri Umani, a meno che ciò non contrasti con la Prima Legge.*

Terza Legge: *Un robot deve salvaguardare la propria esistenza, a meno che ciò non contrasti con la Prima e la Seconda Legge.”*

(Isaac Asimov, *Io, Robot*)

BIBLIOGRAFIA

- Nicola Abbagnano – Giovanni Fornero, *Filosofi e filosofie della storia 3*, Ottocento e Novecento, capitolo VI, *Le macchine possono pensare? I filosofi di fronte ai problemi dell'Intelligenza Artificiale*.
- Francesco Orilia, *Intelligenza artificiale e proprietà mentali da Nuova civiltà delle macchine*, Anno X, n°2 (38) 1992
- Giuseppe Bonaccorso, *Modelli classici e modelli neurali, Auto-intervista critica sulla relazione tra i diversi modelli*. <http://www.psicolab.net/index.asp?pid=idart&cat=2&scat=23&arid=410>
- Simone Parrini, *Reti neurali artificiali*.
<http://www.psicolab.net/index.asp?pid=idart&cat=2&scat=23&arid=232>
- Enrico Nanni, *I vantaggi della neurocomputazione*.
<http://www.psicolab.net/index.asp?pid=idart&cat=2&scat=23&arid=234>
- Enrico Nanni, *Intelligenza Artificiale: una breve introduzione*.
<http://www.psicolab.net/index.asp?pid=idart&cat=2&scat=23&arid=233>
- Attilio Maccari, *I modelli biologici della mente*.
<http://www.neuroingegneria.com/art/I%20Modelli%20Biologici%20della%20Mente/176.php>
- Piergiorgio Odifreddi, *Il teorema di Gödel e l'IA*. <http://www.vialattea.net/odifreddi/godelia.htm>
- Albrecht Beutelspacher, *Matematica da tasca, dall'abaco allo zero*, Ed. Ponte alle Grazie
- Roger Clarke, *Asimov's Laws of Robotics, Implications for Information Technology*.
<http://www.anu.edu.au/people/Roger.Clarke/SOS/Asimov.html>
- Elisabetta Bertozzi, *Il golem e la sua storia*.
<http://www.scritturaimmanente.it/Praga/letteratura/golem.htm>
- Isaac Asimov: *breve biografia*. <http://www.geocities.com/fictionpub/autori/asimov.htm>

