

# INTELLIGENZA ARTIFICIALE: I PRIMI 50 ANNI



Circa 50 anni fa, durante un famoso seminario al Dartmouth College, veniva ufficialmente introdotto il termine “Intelligenza Artificiale”. Vi era allora un’atmosfera di euforia tecnologica indotta dall’avvento del computer, una macchina in grado di manipolare simboli, e l’intelligenza artificiale sembrava a portata di mano. Che cosa è successo dopo? L’articolo presenta alcuni momenti particolarmente significativi della storia dell’IA, le principali aree di ricerca e le prospettive applicative.

Luigia Carlucci Aiello  
Maurizio Dapor



## 1. UN NOME FORSE TROPPO IMPEGNATIVO

Ogni disciplina scientifica è animata da sogni e motivata da grandi progetti. Grazie ad essi si procede, conseguendo risultati forse differenti rispetto a quelli immaginati, ma spesso utili e in grado di conferire all’intero programma un significato che sovente va al di là delle speranze e degli obiettivi originali. Accade anche di conseguire, talora, risultati inaspettati e originariamente imprevedibili.

Qual è il sogno dei ricercatori di intelligenza artificiale? Nella maggior parte dei casi si sogna, cosa piuttosto ambiziosa in verità, di realizzare quello che di certo appare come il più inaccessibile tra i progetti scientifici: capire i principi e i meccanismi del funzionamento della mente umana allo scopo di riprodurre l’intelligenza umana su una macchina.

L’espressione “*Intelligenza Artificiale*” (IA) descrive accuratamente questo sogno traducendo correttamente l’obiettivo finale. Ma, forse, se gravati da un nome meno impegnativo, i ricercatori di IA si sarebbero imbattuti

in minori difficoltà lungo il loro cammino. In effetti, l’espressione “Intelligenza Artificiale” ha innescato paure irrazionali, alimentate da certa letteratura e cinematografia fantascientifiche. Anche il sarcasmo proveniente da alcuni ambienti antiscientifici non ha giovato. Forse il campo avrebbe incontrato meno ostilità se per esso fosse stata scelta la dizione britannica – derivata da A. Turing - di “*Intelligenza delle Macchine*” (IM), in quanto essa rammenta costantemente che, per quanto intelligenti, pur sempre di macchine si tratta. Forse, invece, un forte dibattito era ed è inevitabile in quanto costantemente l’IA (o IM) mette in ballo quella che è ritenuta la più esclusiva prerogativa degli esseri umani: l’intelligenza.

Va aggiunto che la scelta di un’espressione tanto forte come “Intelligenza Artificiale” ha di certo generato aspettative eccessive, in particolare considerando le limitazioni della tecnologia con la quale gli artefatti intelligenti andavano via via realizzati. D’altronde, qualcuno ha giustamente osservato che ogni volta che l’IA raggiunge un nuovo





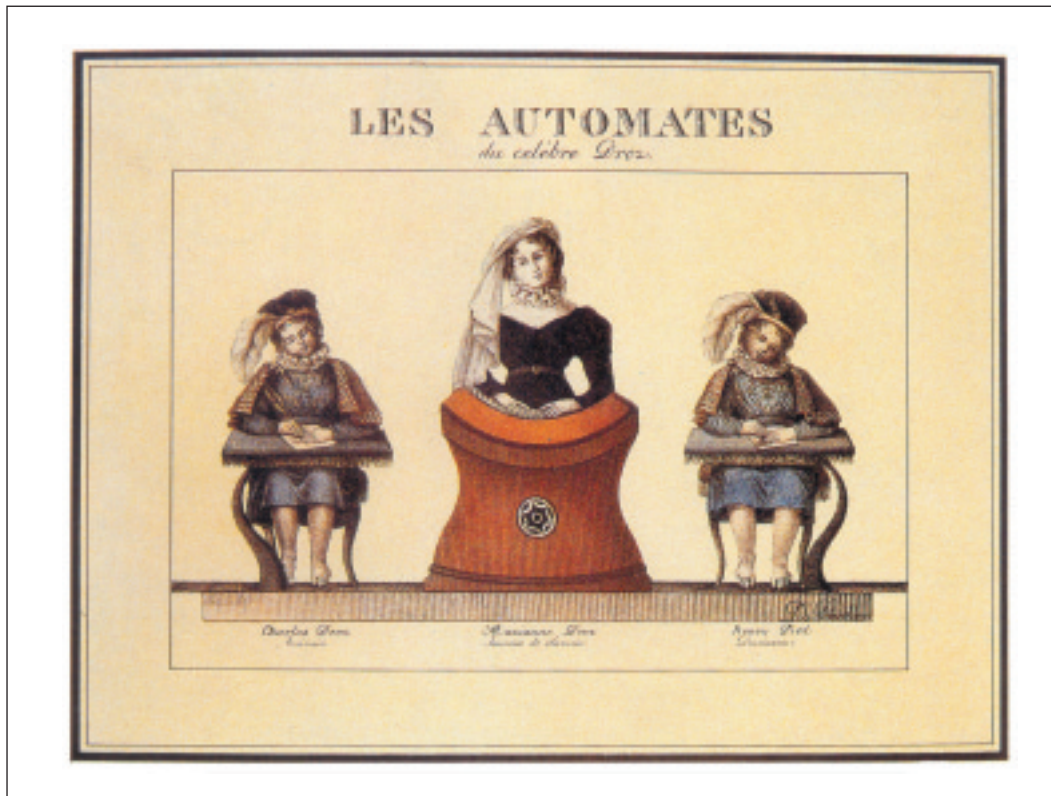
## 2. I PRIMI ANNI DI STORIA: IL PERIODO EROICO

È bene sapere che l'uomo ha tentato di costruire artificialmente forme di vita intelligente assai più spesso di quanto comunemente si creda: già nel XVIII secolo Jacques de Vaucanson costruì un'anitra artificiale che non era solo in grado di nuotare ma anche di ingoiare chicchi di grano (ovviamente non necessari per il suo sostentamento). L'orologiaio svizzero Pierre Jaquet-Droz fabbricò alcuni automi che sono oggi conservati nel Museo di Arti e Storia di Neuchâtel tra cui un piccolo scrivano, un bravo disegnatore, nonché una giovane e promettente musicista i cui movimenti sono controllati da una serie di codici memorizzati su alcuni dischi di metallo. È in grado, questa sorprendente ragazzina, di eseguire cinque melodie differenti utilizzando la tastiera di un vero organo a canne: durante l'esecuzione respira e simula una certa emozione; chiude la sua esibizione con una gentile riverenza e china il capo a seguito degli applausi del pubblico.

Il grande filosofo e matematico G. W. Leibniz era affascinato da un sogno: un giorno, probabilmente non lontano, un *calculus ratioci-*

*nator* sarebbe stato in grado di dirimere qualunque controversia intellettuale: si sarebbe trattato di un complesso sistema di meccanismi in grado di affrontare ogni problema e di risolverlo. L'idea di Leibniz godette, nei secoli a seguire, di una notevole fortuna. Attraverso i primi meccanismi in grado di effettuare le operazioni più semplici dell'aritmetica, l'idea di Leibniz condusse alla macchina di J. Von Neumann che, costituisce la base dei moderni calcolatori.

Nel periodo che va dal 1930 al 1955 si assiste a un fiorire di idee e teorie che costituiranno le basi della odierna IA. Sono di questo periodo i lavori sulla logica, sulla calcolabilità (A. Turing e A. Church, in particolare) che sono stati di fondamento alla progettazione dei primi computer e base all'approccio simbolico all'IA. È di questo periodo (1943) il lavoro fondamentale di W. S. McCulloch e W. H. Pitts in cui viene proposto un modello di neurone che ha fatto poi da base a tutta la ricerca sulle reti neurali. Nel 1949, D. O. Hebb propone un meccanismo per aggiornare la "forza" delle connessioni tra neuroni che è ancora oggi in uso ed è noto come "apprendimento hebbiano".



È del 1951 la costruzione da parte di M. Minski (insieme a D. Edmonds) del primo computer neurale.

Nel 1950, A. Turing pubblica un articolo, "Computing Machinery and Intelligence", in cui introduce il famoso test che poi prenderà il suo nome (test di Turing), l'apprendimento automatico, gli algoritmi genetici e l'apprendimento per rinforzo. Nell'articolo prevede molti degli ostacoli che questi studi avrebbero incontrato negli anni a causa della forte interferenza degli artefatti da essi prodotti con le funzioni cognitive degli esseri umani.

La nascita ufficiale della disciplina è legata a J. McCarthy, che - allora docente al Dartmouth College - organizzò un seminario di due mesi nell'estate del 1956, invitando ricercatori interessati alla teoria degli automi, alle reti neurali e allo studio dell'intelligenza (M. Minski, T. More, A. Newell, N. Rochester, A. Samuel, C. Shannon, O. Selfridge, e H. Simon). I ricercatori presenti al seminario avevano interessi che andavano dallo sviluppo di sistemi di ragionamento automatico (A. Newell e H. Simon) a giochi quali la dama (A. Samuel).

Il problema dell'IA non fu risolto in due mesi, come pare fosse tra gli obiettivi del seminario, ma i protagonisti del campo si conobbero e gettarono le basi per una ricerca che, insieme a quella dei loro studenti, forgiò la disciplina e la caratterizzò per i successivi venti anni.

Dopo il seminario si succedettero molti risultati scientifici e riflessioni filosofiche relativi alla IA: nel 1957, A. Newell e H. Simon realizzarono il *General Problem Solver* (GPS), mentre N. Chomsky pubblicava "Le strutture della sintassi", uno studio della linguistica che diventerà un caposaldo nella progettazione della sintassi dei linguaggi di programmazione.

I primi anni della ricerca in IA, fino alla fine degli anni Sessanta, sono stati caratterizzati da grande entusiasmo ma anche da grande ingenuità. Essi hanno visto un fiorire di "suc-

cessi", nel senso che sono stati sviluppati e proposti in letteratura molti programmi e sistemi che facevano cose impensabili per l'informatica tradizionale dell'epoca: i nuovi programmi di IA facevano inferenze (come nel GPS di A. Newell e H. Simon), giocavano a dama (A. Samuel)<sup>1</sup>, risolvevano problemi di analogie (T. G. Evans) ed elementari problemi di geometria (H. Gelernter), "capivano" semplici frasi in linguaggio naturale (P. Winston) e risolvevano problemi di integrazione simbolica (J. R. Slagle). Si tratta degli anni in cui J. McCarthy ha progettato il LISP<sup>2</sup> (*List Processing*), poi diventato e rimasto linguaggio di elezione per l'IA per i successivi decenni, e l'Advice Taker, un programma che permetteva di rappresentare conoscenza e di fare semplici inferenze. Sono gli anni in cui J. A. Robinson ha introdotto il "principio di risoluzione", che sarà poi alla base della programmazione logica. Sono gli anni in cui all'SRI International viene realizzato Shakey, il primo "robot cognitivo" per il quale sono stati sviluppati sistemi di pianificazione automatica (STRIPS) e algoritmi euristici per la soluzione automatica di problemi tuttora di largo uso (l'algoritmo A\*, introdotto da P. E. Hart, N. J. Nilsson e B. Raphael). Ma — come il nome stesso denunciava (da *shaky* = traballante) — Shakey era un sistema tutt'altro che robusto.

In quegli anni sono stati introdotti gli esempi dei "micromondi", diventati poi noti come *toy problem*. Si tratta anche degli anni in cui, alle dichiarazioni entusiastiche e lungimiranti sugli obiettivi grandiosi della disciplina IA, corrispondevano programmi che risolvevano quiz del calibro di quelli dei giornalini di enigmistica: non c'era verso di poterli utilizzare per risolvere problemi di dimensioni realistiche perché spesso le soluzioni proposte erano del tipo — parole di J. McCarthy — "look ma, no hands"<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Nel 1962, A. Samuel fece giocare un suo programma contro l'ex campione di dama del Connecticut. Il programma vinse l'incontro.

<sup>2</sup> Il LISP nacque come un'estensione del linguaggio FORTRAN. Mentre il FORTRAN era stato progettato per il calcolo numerico, il LISP era dedicato all'elaborazione di informazione simbolica (cioè non numerica) e alla rappresentazione e manipolazione di strutture di dati dinamiche.

<sup>3</sup> "Guarda mamma, senza mani!", gridano i bambini alla mamma per attrarne l'attenzione mentre, pedalando, tolgono le mani dal manubrio della bicicletta.



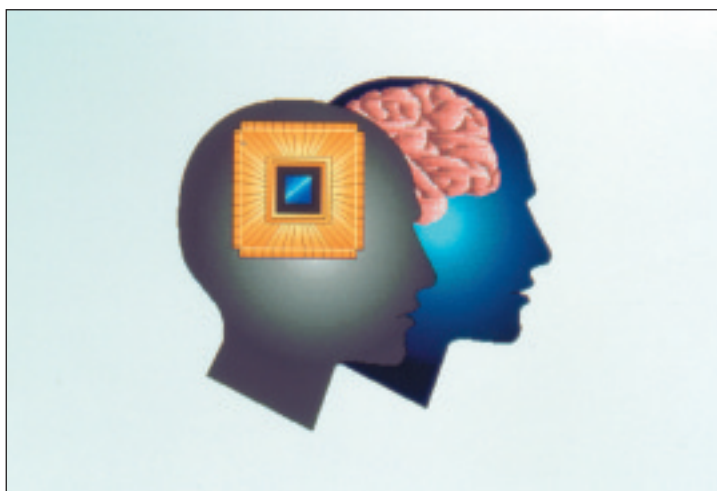
È di quegli anni lo sviluppo da parte di J. Weizenbaum del programma ELIZA, cui si è accennato nel paragrafo precedente. ELIZA, che si comportava come uno psicoterapeuta, è diventato molto famoso e per anni è rimasto il programma esemplare di ciò che l'IA può fare. Forse gode di minor fama il fatto che Weizenbaum, che della sua creatura ELIZA ben conosceva i limiti, turbato da tanto successo secondo lui immotivato, ha abbandonato la ricerca in IA.

Mentre da una parte fiorivano gli sforzi per sviluppare programmi capaci di esibire comportamenti intelligenti, dall'altra si sviluppava il dibattito sulla fattibilità o meno dell'intelligenza artificiale. Nel 1960, J.R. Lucas asserì che il teorema di incompletezza di Gödel impedirebbe che una macchina possa risolvere problemi che la mente umana, invece, sa come affrontare. Credette in tal modo di poter trarre la conclusione che la mente non è una macchina. Nel 1979, D. Hofstadter pubblicò il celeberrimo "Gödel, Escher e Bach" in cui, tra l'altro, si contrappose alle tesi sostenute da Lucas mostrando che il teorema di incompletezza permetterebbe di prefigurare sistemi autoconsapevoli.

Nonostante i successi conseguiti dalle prime reti neurali artificiali, cui loro stessi avevano contribuito, nel 1969, M. Minsky e S. Papert ne evidenziarono i limiti nel libro "Perceptrons": data l'autorevolezza degli autori, la pubblicazione del libro provocò una consistente contrazione dei finanziamenti per la ricerca nel campo delle reti neurali artificiali. La conseguente riduzione di interesse si protrarrà sino alla prima metà degli anni Ottanta, allorché la ricerca riprenderà vigore anche grazie a un celebre articolo del 1982 di J. J. Hopfield.

### 3. L'INDUSTRIA DEI SISTEMI ESPERTI E L'INVERNO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Il sogno originale dei ricercatori di IA era quello di individuare un formalismo per rappresentare conoscenza e un apparato deduttivo con poche regole di tipo del tutto generale che permettessero di riprodurre i meccanismi del ragionamento umano. È in questo senso la proposta del GPS di A. Newell e H. Simon.

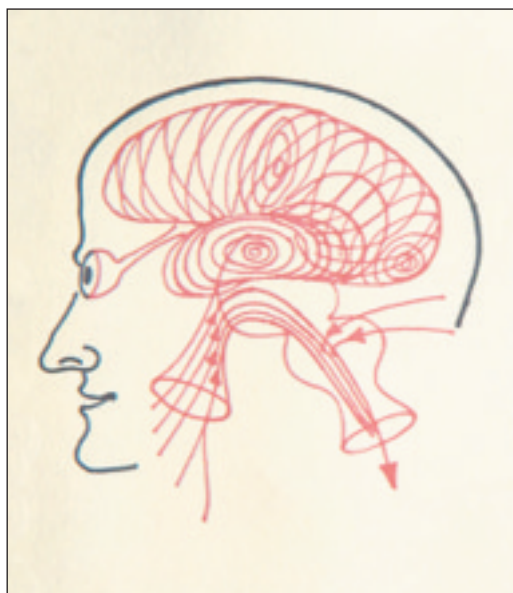


Ma presto questo approccio generalista rivelò i suoi limiti, e non solo per la intrinseca limitatezza della potenza di calcolo a disposizione in quegli anni: la costruzione di una macchina che fosse intelligente in ogni campo apparve chiaramente come un progetto di difficile (se non impossibile) realizzazione. Già dalla seconda metà degli anni Sessanta nella comunità di ricerca in IA si faceva strada una preoccupazione: i programmi sviluppati si limitavano a semplici manipolazioni simboliche, non avevano e non utilizzavano, di fatto, nessuna cognizione di quello che stavano facendo e non avevano alcun modo per confrontarsi con la complessità (in genere esponenziale) dei problemi che si incontravano nelle situazioni pratiche. È di questi anni un vero ridimensionamento degli entusiasmi: anziché perseguire l'obiettivo di costruire un sistema capace di intelligenza generale e assoluta, che si manifesterà poi nella soluzione di qualunque problema, ci si accontenta piuttosto di costruire sistemi capaci di risolvere problemi in domini limitati; la conoscenza su un settore limitato viene rappresentata nel sistema e gli permette di comportarsi da esperto nel dominio in questione. In tale periodo, si assiste alla nascita (e al successo) dei "sistemi basati sulla conoscenza" o "sistemi esperti".

"Se sto male non vado al dipartimento di matematica, dove so che ragiono molto bene, ma a quello di medicina, dove so che possiedo e sanno utilizzare conoscenza medica": era lo slogan lanciato da E. Feigenbaum, a sottolineare l'importanza di costruire sistemi che incorporassero conoscenza del dominio

e che poi ne facessero effettivo uso al fine di individuare automaticamente in modo efficiente ed efficace una soluzione per i problemi posti al sistema, tipicamente problemi diagnostici. Più ragionevole e promettente appariva, quindi, l'approccio che, anziché pretendere di catturare l'intelligenza in regole generali in grado di risolvere qualunque problema, si focalizzasse piuttosto sulla capacità di affrontare singole problematiche mediante tutto ciò che si conosceva sull'argomento: utilizzando regole, conoscenze strutturali, principi di ragionamento, trucchi del mestiere, sarebbe certo stato possibile ottenere risultati molto pregnanti. Con i sistemi esperti si mostrò che programmi in grado di conservare e organizzare le conoscenze concernenti ambiti ben precisi e ristretti, e di dedurre quanto non esplicitamente dichiarato, erano in grado di individuare le soluzioni di problemi complessi fino a quel momento non aggredibili con tecnologie informatiche.

In quegli anni sono stati sviluppati sistemi esperti per numerose applicazioni: dalla biochimica, alla prospezione geologica, alla diagnosi medica, alla progettazione di configurazioni complesse, alla finanza. Molti di questi sistemi sono stati usati con notevole successo da parte dei loro realizzatori: tra i più noti si citano R1, sistema sviluppato al CMU per la Digital, che permetteva di automatizzare compiti che avrebbero richiesto molto personale



qualificato. Va poi menzionato PROSPECTOR, un sistema esperto in prospezioni geologiche sviluppato all'SRI International che portò, nel 1979, la ricerca in IA per la prima volta sulla prima pagina sul New York Times: un "computer program", segnalava l'autorevole quotidiano, era riuscito a localizzare un giacimento di molibdeno nel nord ovest degli Stati Uniti. Si trattava di un giacimento che i geologi ipotizzavano esistere, ma in 20 anni non erano riusciti a localizzare.

Oggi è possibile asserire che i sistemi esperti costituiscono un indiscutibile successo dell'IA, anche se il nome è stato abbandonato in favore di nomi più "neutri" quale, ad esempio, "sistemi di supporto alle decisioni".

L'entusiasmo per i successi dei sistemi esperti ha portato al fiorire di un'industria di IA, il cui fallimento ha poi determinato la peggiore stagione nell'intera storia della disciplina, definita "l'inverno dell'IA". I motivi di tale entusiasmo sono evidenti: problemi fino a poco tempo prima giudicati irrisolvibili con un sistema di calcolo trovavano adesso soluzione. Era diventato possibile effettuare diagnosi mediche di livello paragonabile a quelle dei medici più qualificati, potendo, inoltre, "spiegare" il ragionamento seguito dal sistema per arrivare a una data conclusione piuttosto che a un'altra. Questo induceva a pensare che — con gli strumenti adatti — chiunque avrebbe potuto in poco tempo costruire il suo sistema esperto. Inoltre, le interfacce "amichevoli" avrebbero reso questi sistemi utilizzabili da chiunque, rendendo inutile la presenza di esperti. Entrambe le aspettative erano, naturalmente, esagerate. Altri motivi di insuccesso, interessanti da analizzare, riguardano la dimensione troppo piccola dei domini di esperienza dei sistemi esperti; la brusca diminuzione di affidabilità qualora un problema non sia "centrato" nel dominio di esperienza del sistema; l'incapacità da parte di un sistema di capire se una domanda rientrava o no nel suo dominio di esperienza.

A fianco dei sistemi esperti, l'industria in quegli anni offriva "ambienti" (talvolta detti "shell") per il loro sviluppo o per "l'ingegneria della conoscenza", ostinandosi a perseguire l'idea che si trattava di compiti affatto differenti dall'ingegneria del software e che richiedevano, pertanto, hardware e softwa-

re specializzati. L'alto prezzo e la bassa affidabilità dei sistemi (hardware e software) rapidamente immessi sul mercato per rispondere alla spasmodica domanda ne decretò il fallimento. Anche il lancio e il successivo fallimento del progetto della cosiddetta "quinta generazione" giapponese, programma di ricerca per la creazione di hardware e software per lo sviluppo di sistemi intelligenti di cui non resta oggi praticamente traccia, fu corresponsabile del sopraggiungere dell'inverno dell'IA.

Di questo periodo è rimasta una connotazione estremamente riduttiva dell'IA: agli occhi di molti infatti l'IA è diventata ed è rimasta la ricerca per la costruzione di sistemi, magari sofisticati, basati su regole di tipo "se...allora". In realtà, la ricerca sui "sistemi a regole" si è esaurita negli anni Settanta, per sopravvivere negli "shell per sistemi esperti" dei primi anni Ottanta.

#### 4. L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE ESCE DALL'INVERNO

Si può far risalire alla seconda metà degli anni Ottanta il risveglio dell'IA dal suo inverno. Innanzitutto, la ricerca in IA che, fino a quel momento, aveva cercato di differenziarsi da quella delle discipline limitrofe per trovare una sua identità, ha cominciato a non disdegnarne più gli avanzamenti e i risultati. Ci si riferisce qui agli avanzamenti in matematica, informatica, teoria del controllo, statistica. A partire dalla seconda metà degli anni Ottanta, l'IA ha cercato una maggiore integrazione con queste discipline.

Ormai superata l'era pionieristica, la comunità scientifica ha cominciato a non accontentarsi più di risultati imposti sulla base di *handwaving*, ma a pretendere un maggiore rigore: i risultati dovevano essere fondati su solide teorie (meglio se non inventate: piuttosto modifiche, o estensioni, di teorie esistenti) oppure evinti da sperimentazioni degne del nome.

Risale a questi anni la "riscoperta" delle reti neurali. Come accennato in precedenza, il merito va in particolare ai risultati di J. J. Hopfield (e poi di D. E. Rumelhart e G. E. Hinton): le nuove reti neurali hanno eliminato le limitazioni espressive delle reti proposte in pre-

cedenza, allargandone enormemente il campo di applicazione. La ricerca sulle reti neurali ha recuperato risultati di decenni della matematica e della fisica, così come l'adozione degli HMM (*Hidden Markov Model*) ha permesso di portare, nel campo della comprensione del linguaggio parlato, tecniche sviluppate nella ricerca matematica e che hanno fornito al riconoscimento del parlato una qualità che lo ha reso utilizzabile in robuste applicazioni commerciali (per esempio nei sistemi telefonici). Analoga considerazione vale per il calcolo delle probabilità, per lungo tempo disdegnato dai ricercatori di IA (qualcuno certo ricorderà alcuni sistemi esperti di "prima generazione" e del tentativo che essi facevano di re-inventare un calcolo delle probabilità addomesticato, poiché il calcolo delle probabilità non era considerato utilizzabile nel contesto di loro interesse). Sono state proposte le "reti bayesiane", e sono ora molto utilizzate per rappresentare e ragionare in modo rigoroso con conoscenza incerta sfruttando il teorema di Bayes, caposaldo del calcolo delle probabilità.

Nel 1991, il filosofo D. Dennett dà alle stampe il libro *Consciousness Explained*, nel quale sostiene che l'auto-consapevolezza umana non è niente di più che l'effetto di processi biochimici. La coscienza umana, vale a dire la frontiera che, secondo molti filosofi, separa il pensiero umano dal calcolo meccanico, non è, per Dennett, che il prodotto di macchine seriali "implementate in modo inefficiente sull'hardware parallelo fornitoci dall'evoluzione". Forse perché la soluzione dei vari sottoproblemi dell'IA ha cominciato a dare i suoi frutti, a partire dalla seconda metà degli anni Novanta del novecento i ricercatori si concentrano di nuovo sul progetto dell'"agente intelligente" come entità: fiorisce, quindi, la ricerca sugli agenti software intelligenti e degli agenti intelligenti "incorporati" in un sistema fisico, cioè i robot dotati di cognizione.

Gli agenti intelligenti sono "situati" nel mondo fisico con il quale interagiscono: la percezione dà all'agente informazione sullo stato del mondo e le sue azioni producono cambiamenti in questo mondo. Nel caso dei robot, il mondo fisico è un ambiente solitamente "non strutturato", cioè non completamente descrivibile a priori, quindi non completa-

mente prevedibile (mentre, per esempio, è strutturato l'ambiente costituito da una catena di montaggio in una applicazione di automazione industriale). Nel caso degli agenti intelligenti software, l'ambiente fisico per eccellenza è il web e, in questo caso, si parla anche di "softbot".

Trattare in modo sufficientemente dettagliato tutti i settori in cui si articola la ricerca in intelligenza artificiale è al di fuori della portata di questa presentazione. Un quadro sintetico viene presentato a pagina 18, alcuni dei settori di ricerca in IA sono stati già portati all'attenzione dei lettori di Mondo Digitale in articoli recenti (elencati in Bibliografia tra le letture consigliate). Qui di seguito si accennerà soltanto a due filoni che hanno caratterizzato il campo e che sono stati considerati come antitetici e alternativi per la realizzazione di un artefatto intelligente: l'approccio logico e quello connessionista (cioè basato su reti neurali artificiali) alla rappresentazione della conoscenza. Il primo è anche comunemente detto approccio "simbolico", e — per contrasto — il secondo viene detto approccio "sub-simbolico".

## 5. RAPPRESENTAZIONE DELLA CONOSCENZA: L'APPROCCIO SIMBOLICO

Già si è accennato a J. McCarthy il quale, già nel 1958, sviluppò il linguaggio di programmazione per eccellenza dell'IA, il celeberrimo LISP, e l'Advice Taker. Già in quegli anni egli delineava quello che è diventato l'approccio simbolico (o logicista) alla IA. Esso consisteva nel rappresentare — utilizzando un opportuno linguaggio formale — in una "base di conoscenza" (BC) tutto quello che un agente conosce su un dato mondo (rappresentazione esplicita della conoscenza) e da questa base di conoscenza trarre le conclusioni necessarie a far agire l'agente in modo "intelligente". I meccanismi inferenziali permettono di rendere esplicita anche conoscenza che nella BC non è esplicitamente rappresentata, simulando ragionamenti del tipo del classico sillogismo aristotelico per cui se in BC ho che "Socrate è un uomo" e che "Tutti gli uomini sono mortali", posso dedurre sì che Socrate è un uomo (direttamente contenuto in BC) ma an-

che che Socrate è mortale (implicitamente contenuto in BC e dedotto con la regola di inferenza del *modus ponens*). Questo tipo di rappresentazione e uso della conoscenza ricorda molto da vicino le teorie assiomatiche in matematica: la conoscenza su un dato pezzo di mondo (per esempio, i gruppi) viene rappresentata in forma di assiomi (gli assiomi sui gruppi: esistenza di una operazione associativa, esistenza di una identità, di un inverso) da cui si traggono conclusioni (i teoremi, cioè le proprietà che valgono nei gruppi).

La rappresentazione della conoscenza in IA si avvicina molto alla logica matematica, ma al tempo stesso ne differisce grandemente: mentre, infatti, in matematica la conoscenza è di tipo statico (per esempio, se una struttura matematica è un gruppo commutativo lo è per sempre, e le sue proprietà per sempre rimarranno vere), in IA si vuole rappresentare una realtà che cambia dinamicamente, in cui quindi proprietà possono passare dal vero al falso, semplicemente perché è cambiato il quadro di riferimento e sono state eseguite azioni che hanno falsificato cose che prima erano vere (o viceversa).

La specificità della conoscenza da trattare nei sistemi di IA ha portato McCarthy a proporre lo sviluppo di una "teoria della conoscenza" cioè lo sviluppo di una nuova logica (o meglio, di nuove logiche) che permettesse di descrivere rappresentazioni del mondo e dei suoi cambiamenti, e che giocasse un ruolo analogo a quello svolto dal calcolo nella fisica e dalla logica classica nella matematica. Come già detto, infatti, la logica matematica si occupa di enti teorici indipendenti dal tempo. L'IA, invece, non può permettersi di trascurare la conoscenza e le credenze che un agente ha su un dato mondo (che possono differire da ciò che in quel mondo è vero, semplicemente perché l'agente ha una conoscenza parziale o errata), le azioni, gli effetti delle azioni, quindi i cambiamenti. In altre parole, le logiche per l'intelligenza artificiale devono permettere di gestire il tempo, lo spazio, l'evoluzione dei contesti di riferimento, le variazioni dell'ambiente e la conoscenza che un agente ha sul mondo, i cambiamenti ad essa apportati mediante percezione ecc..

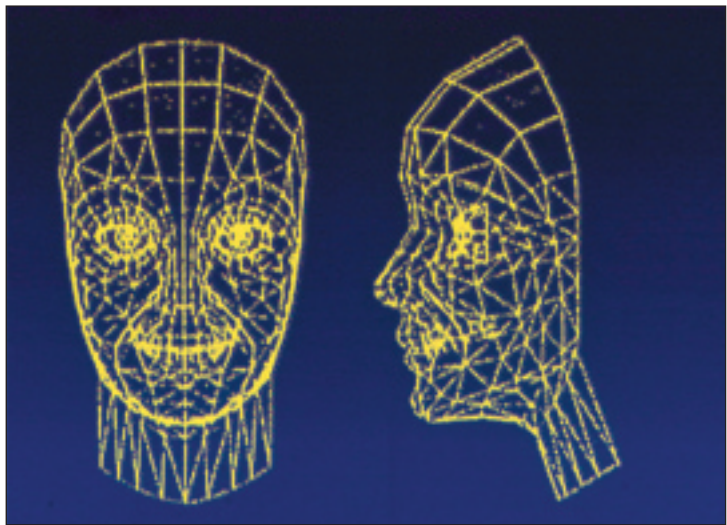
Lo studio di logiche (dette anche formalismi) per la rappresentazione della conoscenza è





stato ed è molto attivo e si concentra su due aspetti: da una parte la forma sintattica che le formule debbono avere affinché la conoscenza che esse “incorporano” sia riconoscibile e utilizzabile dal sistema, dall'altra il meccanismo inferenziale che dalla conoscenza espressa in questo formalismo permette di trarre conclusioni. Mentre del formalismo si vuole che sia espressivo, conciso e facile da usare, dell'apparato deduttivo si vuole che permetta solo di trarre conclusioni valide (correttezza) e possibilmente sia in grado di trarre tutte (completezza). Trattandosi di rappresentazioni di realtà complesse è subito evidente che ci si scontra con un grosso problema di complessità computazionale: complessità spaziale, cioè lo spazio di memoria occupato dalla BC e lo spazio di memoria necessario al meccanismo inferenziale per fare le sue deduzioni; complessità temporale, cioè il tempo necessario a raggiungere le conclusioni. Mentre ci si può accontentare di un apparato inferenziale incompleto, se questo favorisce un incremento dell'efficienza, certo non si vuole per un agente intelligente un apparato inferenziale non corretto. Proprio per incrementare l'efficienza delle inferenze, una tecnica che è attualmente oggetto di ricerca è quella di operare opportune trasformazioni della BC, dette compilazioni. Queste possono essere eseguite *off-line*, ed essere, quindi, molto utili se su di esse si può scaricare la complessità del problema e semplificare di conseguenza l'elaborazione da effettuare *on-line* quando cioè all'agente è effettivamente richiesto di agire e/o rispondere a specifiche domande.

Un problema cruciale in rappresentazione della conoscenza in IA è stato (ed è) quello della rappresentazione della conoscenza incerta. Ci si trova di fronte a due tipi di incertezza: una frase di cui non si sa se è vera o falsa (per esempio, “il Presidente Bush in questo momento dorme”) o una frase di cui non si sa stabilire con esattezza la verità, semplicemente perché non ha senso (per esempio, “Mario è giovane”). Nel primo caso si ha bisogno di formalismi che permettano di trarre conclusioni anche se non si ha una conoscenza completa della situazione (per esempio, è possibile trarre tutte le conclusioni che non riguardino lo stato di vigilanza di



Bush), e che permettano di aggiornare le nostre conclusioni in situazioni in cui la conoscenza viene aggiornata (per esempio, un atto di percezione può aggiornare la BC con un nuovo fatto che dice che Bush, prima sveglio, ora dorme). Per trattare questo tipo di conoscenza sono state fatte molte proposte. La più famosa forse è la “logica dei default” proposta da R. Reiter nel 1980. Questa permette di trarre conclusioni in situazioni in cui si sa che una proprietà vale generalmente, ma non necessariamente per tutti gli elementi di una certa classe. La logica dei default non richiede nessuna modifica alla forma delle formule in BC, ma consiste nel modificare le regole di inferenza facendole diventare regole “di default”: ogni volta che si sa che per gli oggetti di tipo A tipicamente vale la proprietà B, si introduce una regola del tipo: “Se vale A e in assenza di informazione che me lo impedisca<sup>4</sup>, concludo B, allora B prende il nome di “conclusione di default”. L'esempio più noto di ragionamento default è quello per cui “se qualcosa è un uccellino, in assenza di informazione che lo neghi, possiamo concludere che esso vola”. In base a questa regola di default si può concludere che l'uccellino Titti vola in tutti i casi in cui non si sappia che ha un'ala rotta, che se lo è mangiato Gatto Silvestro ecc.. Ma è evidente che questa conclusione può essere smentita non appena si ac-

<sup>4</sup> In questo caso “impedire” vuol dire essere contraddittorio con B.

quisisca maggiore conoscenza sul mondo, o il mondo abbia subito un'evoluzione che invalida la proprietà dedotta per default.

Nel secondo caso, si ha bisogno di rappresentare verità "sfumate". Nel mondo reale oltre a fatti che sono veri o falsi in modo binario, come in matematica, ci sono fatti (molti di più?) la cui verità è parziale, o da valutare relativamente a un dato contesto. C'è tutta una gamma di "valori di verità" che vanno dal vero al falso, quali ad esempio quelli che servono a descrivere la proprietà "essere alto", "essere giovane" ecc.. Per rappresentare questo tipo di conoscenza "incerta" sono state fatte varie proposte, la più nota delle quali si deve a L. Zadeh che, già dagli anni Sessanta, ha introdotto la logica *fuzzy*, o sfumata. Studiata e sviluppata, a partire dagli anni Novanta ha trovato ampie applicazioni in robotica e nello sviluppo di apparati fisici complessi.

## 6. L'APPROCCIO SUB-SIMBOLICO: LE RETI NEURALI ARTIFICIALI

A partire dalla seconda metà del secolo scorso, attraverso l'introduzione di reti di unità logiche elementari (drastiche semplificazioni del neurone biologico proposte dal neurofisiologo W. S. McCulloch e dal logico W. H. Pitts nel 1943), si è tentato di realizzare artefatti intelligenti aggirando l'ostacolo rappresentato dalla necessità che un programmatore umano ne stabilisse a priori il comportamento, pianificandolo nella stesura dei suoi programmi. L'architettura parallela delle reti neurali artificiali si fonda su un grande numero di unità elementari connesse tra loro su cui si distribuisce l'apprendimento. Esse hanno la capacità di apprendere da esempi senza alcun bisogno di un meccanismo che ne determini a priori il comportamento. Eseguono i loro compiti in modi completamente diversi da quelli delle macchine di Von Neumann: stabilendo autonomamente le rappresentazioni interne e modificandole sulla base della presentazione ripetuta di esempi, esse apprendono dai dati d'esperienza. Addestrare una rete neurale artificiale corrisponde a effettuare un certo numero di cicli di apprendimento grazie ai quali la rete ge-

nera una rappresentazione interna del problema. Una volta che, ad esempio, ha imparato ad associare tra loro alcune immagini, la rete effettuerà le associazioni corrette anche se le immagini in ingresso sono parzialmente differenti da quelle utilizzate nelle fasi di apprendimento.

Il neurone di McCulloch e Pitts è un'idealizzazione assai semplificata del neurone biologico. Si tratta, in sostanza, di un'unità logica in grado di fornire un'uscita binaria (zero oppure uno) in base al risultato di un semplice calcolo effettuato sui valori assunti da un certo numero di dati che si trovano sui suoi canali d'ingresso. A ognuno dei canali di ingresso viene assegnato un valore numerico, o peso. L'unità logica è caratterizzata da un valore numerico, un valore di soglia. Ogni singola unità logica confronta continuamente la somma pesata dei dati che si presentano ai suoi canali di ingresso con il valore della soglia. Se questo viene superato allora sul canale di uscita si troverà il valore uno. Altrimenti l'*output* sarà zero. L'analogia con il neurone biologico è evidente, così come l'estrema semplificazione rispetto ai reali processi che avvengono a livello cerebrale nelle cellule neurali. I canali di ingresso corrispondono, in questo modello, ai dendriti biologici mentre il canale di uscita rappresenta l'assone. I pesi delle connessioni sono in relazione con le intensità delle sinapsi mentre il calcolo effettuato dalle unità logiche a soglia simula approssimativamente quello eseguito dai neuroni biologici: i quali sulla base dell'integrazione dei segnali post-sinaptici, "decidono" se inviare o no un impulso nervoso lungo i loro assoni.

Una rete di neuroni artificiali di McCulloch e Pitts può apprendere dall'esperienza se si consente che i pesi delle connessioni possano essere modificati, sulla base dei dati di esperienza, con l'obiettivo di riuscire a generare, dopo un periodo di apprendimento, le risposte desiderate a date sollecitazioni.

L'istruttore fornirà, durante la fase di apprendimento, l'insieme delle risposte attese alle varie sollecitazioni, permettendo alla rete di modificare progressivamente i pesi delle connessioni con l'obiettivo di avvicinarsi alle risposte desiderate. La rete adeguerà i pesi secondo qualche specifico algoritmo in grado di

ridurre il più possibile la distanza tra la risposta reale e quella assegnata dall'istruttore. Il meccanismo noto come "retro-propagazione dell'errore" consiste nel calcolo delle derivate (effettuato rispetto ai pesi delle connessioni) della somma dei quadrati degli scarti tra uscite effettive e uscite attese. L'operazione viene ripetuta fino al raggiungimento del livello di apprendimento desiderato.

## 7. IL DIBATTO SULL'INTELLIGENZA DELLE MACCHINE

Il dibattito tra approccio logico-simbolico e sub-simbolico (reti neurali) è stato molto forte fino al passato recente e ha assunto toni piuttosto accesi. La tendenza odierna è, invece, basata su una ragionevole integrazione tra le varie proposte. Più in generale, l'approccio contemporaneo consiste in un atteggiamento di apertura nei confronti dello sviluppo di qualunque tipo di sistema in grado di esibire comportamenti intelligenti; sfruttando la logica (che si preoccupa della descrizione strutturale), la statistica (che cerca relazioni e associazioni basandosi sull'osservazione di grandi quantità di dati) e le reti neurali (che apprendono dall'esperienza), l'IA oggi si presenta come una disciplina matura e libera da condizionamenti "ideologici". I ricercatori di IA sanno bene che le intelligenze naturali sono in grado di prendere decisioni, risolvere problemi e friggere uova grazie ad una sorta di approccio integrato.

"Mi propongo di affrontare il problema se sia possibile per ciò che è meccanico manifestare un comportamento intelligente". In questo modo, introduceva l'argomento delle macchine intelligenti A. M. Turing nel 1948.

La scandalosa domanda di Turing non ha mai smesso di far riflettere scienziati e filosofi: a prescindere dai metodi scelti dai ricercatori di IA, molti studiosi continuano a interrogarsi attorno alla questione dell'intelligenza delle macchine. Pur non essendo particolarmente colpiti dal dibattito in corso sull'argomento, si ritiene che non si possa trascurarlo. Si farà, pertanto, qualche cenno alla discussione relativa alla possibilità che l'uomo possa costruire o meno macchine intelligenti quanto lui o, forse, più intelligenti di lui.



Il parere di Turing era presumibilmente favorevole a questa eventualità allorché egli formulò la sua domanda. Una domanda retorica, dunque, pensata per stabilire, una volta giunti al cospetto di una macchina, come testarne l'eventuale intelligenza. Turing era interessato al comportamento della macchina. Se, in buona sostanza, il comportamento di una macchina fosse indistinguibile da quello di un essere umano allora, per Turing, la macchina andrebbe definita come un agente intelligente.

Il superamento del test di Turing da parte di una macchina può realmente essere condizione sufficiente per stabilirne l'intelligenza? Non era certamente di questo parere J. R. Searle allorché propose il suo celebre esperimento della stanza cinese. Si immagina di rinchiudere in una stanza una persona che non conosca il cinese e che la stanza contenga un archivio ben organizzato che raccoglie tutti gli ideogrammi cinesi e un manuale, scritto in una lingua nota al protagonista dell'esperimento, che descriva senza alcuna ambiguità tutte le regole di associazione degli ideogrammi cinesi. Fuori dalla stanza cinese si trovano alcuni turisti cinesi che introducono nella stanza ideogrammi corrispondenti a una conversazione in cinese. Consultando archivio e manuale, il nostro amico chiuso





Golfo del 1991, durante la quale la pianificazione e la schedulazione del trasporto di oltre 50 000 veicoli fu affidato dall'esercito americano a un sistema di IA in grado di tenere conto di destinazioni, strade, conflitti e di risolvere problemi che, con i metodi tradizionali, avrebbero richiesto tempi assai superiori.

**Robotica** - In questo campo le applicazioni al mondo reale sono numerose e sempre più affidabili e consolidate. Esse vanno da quelle nello spazio e nei fondali marini, a quelle in ambienti ostili e/o insicuri per operatori umani, alla robotica di servizio, ai primi robot di impiego domestico: un esempio di questa ultima applicazione è il robot autonomo aspirapolvere o tagliaerba. Per un'applicazione molto importante e ormai (relativamente) diffusa della robotica si pensi che oggi molti chirurghi utilizzano assistenti robot per delicate operazioni di (micro)chirurgia e che sono già state eseguite con successo operazioni chirurgiche in cui l'assistente robot e il paziente, da una parte, e il chirurgo, dall'altra, erano fisicamente distanti, addirittura in due diversi continenti.

**Diagnosi** - In questo campo ci sono programmi in grado di effettuare diagnosi in specifiche aree della medicina, oppure di individuare guasti in sistemi fisici complessi. Il livello delle diagnosi di tali programmi è paragonabile a quello delle analisi che potrebbero essere realizzate da specialisti e professionisti.

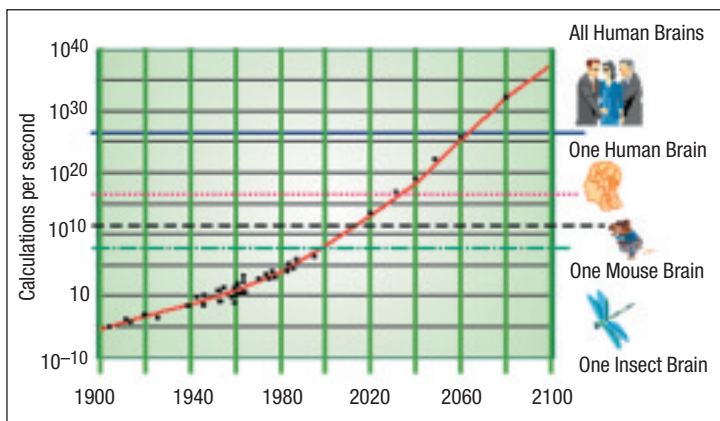
**Comprensione del linguaggio** - Qui le applicazioni sono ormai innumerevoli e il livello di sofisticazione dei programmi è tale da essere, in certi settori, superiore a quello degli esseri umani: il programma Proverb, sviluppato da Littmann nel 1999, può risolvere complicati cruciverba (che richiedono competenze e conoscenze di alto livello) che molti esseri umani non sanno affrontare. La ricerca di informazioni sul web costituisce un settore applicativo molto importante per la ricerca sul linguaggio scritto (comprensione, reperimento di informazioni sulla base dei contenuti di documenti e non di semplici confronti testuali, estrazione di riassunti, traduzione automatica), mentre la diffusione di servizi telefonici e dei call center ha dato una notevole spinta alla diffusione di sistemi di comprensione e generazione di linguaggio parlato.



**Gioco** - Anche la ricerca sui giochi, presente già dagli albori dell'IA e palestra per le prime rudimentali tecniche di ricerca automatica di soluzioni e di apprendimento automatico, ha raggiunto una sua maturità applicativa. L'esempio più evidente è costituito dal gioco degli scacchi: come osservato in precedenza, un programma — Deep Blue — già sette anni fa ha battuto un campione mondiale. La ricerca sui programmi che giocano a scacchi prosegue, anche seguendo tecniche diverse da quelle impiegate in Deep Blue, e — cosa decisamente interessante — influenza il comportamento dei giocatori umani: i giocatori di scacchi, infatti, ormai si allenano specificamente per giocare contro i computer. Non sembra troppo azzardato prevedere che non sia lontano il momento in cui gli esseri umani non avranno più *chance* di battere un computer nel gioco degli scacchi.

## 9. UN FRAMMENTO DI FUTURO: INTELLIGENZA NELL'AMBIENTE E DOMOTICA

L'IA è, attualmente, forte del raggiungimento di risultati importanti, sia nello sviluppo di sistemi software, che nel campo molto più "visibile" della robotica. Di particolare impatto sul grande pubblico sono: l'impiego di robot per usi chirurgici, per l'esplorazione spaziale interplanetaria e nei campi di battaglia (in particolare gli *Unmanned Aerial Vehicles*, UAV, i veicoli senza piloti). La ricerca in IA sta ricevendo una grande spinta dai recenti avvenimenti internazionali, in



particolare dalle applicazioni riguardanti la sicurezza e da quelle militari<sup>5</sup>.

Non è possibile qui passare in rassegna tutti i campi in cui ci si attendono importanti sviluppi portati dalla intelligenza artificiale nel prossimo futuro. Tra tanti è opportuno sceglierne uno, che sta diventando sempre più importante, anche per le significative implicazioni economiche, visto che prevede lo sviluppo di prodotti che potranno trovare impieghi di massa. Il settore è quello delle applicazioni dell'IA nella vita quotidiana, in particolare nella realizzazione della casa intelligente.

La realizzazione della casa intelligente, o "domotica", rappresenta una palestra molto importante per varie discipline e tecnologie, in particolare per applicazioni di robotica cognitiva. La chirurgia o l'esplorazione dei pianeti, quali domini per applicazioni robotiche, costituiscono certamente ambiti affascinanti, utili, e assolutamente imprescindibili per lo sviluppo della disciplina e per il progresso scientifico e tecnologico. Ma solo quando si avrà realizzato un'IA per applicazioni domestiche e per attività di vita quotidiana si potrà asserire di aver raggiunto un obiettivo applicativo che entrerà nella vita di tutti.

Cosa si intende con l'espressione "casa intelligente"? Si tratta di una applicazione ingegneristica alla portata di una tecnologia che se, forse, non è ancora completamente a punto è di certo assai prossima a divenirlo. È

<sup>5</sup> Dopo l'inizio della guerra in Iraq, i finanziamenti da parte del Dipartimento della Difesa USA ai gruppi che fanno ricerca in IA nelle più prestigiose università statunitensi sono aumentati del 43%.

una tecnologia che utilizza sensori per monitorare apparecchi, impianti, fughe di gas; ma, ovviamente, non solo. Essa consentirà di azionare elettrodomestici da fuori casa e di controllarne lo stato. Si può facilmente immaginare che essa potrà occuparsi in modo automatico di chiamare la manutenzione del frigorifero, della lavastoviglie, della caldaia e della lavatrice se e quando necessario, o di fare la spesa al supermercato.

Nel passato, oltre che affidare i problemi della sicurezza alla sensoristica, si pensava che il controllo e l'utilizzo di elettrodomestici dall'esterno fosse utile per consentire agli utenti di poter svolgere funzioni in casa pur essendo fuori per lavoro o per diletto.

Oggi, questo punto di vista è considerevolmente mutato: si pensa a rendere più sicura, accogliente e vivibile la casa per chi la abita. In particolar modo, per coloro che hanno qualche forma di debolezza, dovuta a inabilità o all'età avanzata. Si pensi, per esempio, al caso dei malati di Alzheimer: queste persone, quando la malattia si trova in uno stadio avanzato, possono fare azioni in modo inconsapevole, per esempio uscire da casa, rischiando di arrecare danno a sé stesse. Si tratta di eventualità che potrebbero essere tenute sotto controllo da un ambiente intelligente che venisse programmato per evitare tali circostanze.

Nella domotica confluiranno i risultati della ricerca in intelligenza artificiale, robotica – in particolare robotica cognitiva – sensoristica, telecomunicazioni e del *pervasive computing*. Sensori e monitoraggio potranno essere proficuamente utilizzati per la sicurezza degli ambienti. Per quanto attiene alla sicurezza personale da intrusioni, questa sarà garantita da video citofoni, video telefoni nonché da applicazioni di biometria.

Il tele-monitoraggio di malattie croniche, realizzato mediante sistemi che ricordano all'utente di prendere certe medicine di cui necessita, o di fare certe operazioni e svolgere determinati compiti, consentirà di garantirne la sicurezza personale e di seguire da vicino i suoi eventuali problemi di salute.

Ma si può anche facilmente prevedere che servizi quali la pulizia di casa siano delegati a robot mobili e autonomi. Già oggi sono in vendita robot autonomi aspirapolvere o tosaerba. Non solo: chi non desidererebbe un robot-as-



sistente personale che si occupasse, solo per fornire qualche esempio, di ricordargli scadenze, suggerirgli azioni, fargli piccoli servizi o aiutarlo a riordinare le foto di famiglia?

Infine, non vanno dimenticati il tempo libero e gli aspetti ludici. Tele-conferenze, realtà virtuale e altro dovrebbero favorire la socializzazione e promuovere attività divertenti e rilassanti: incoraggiando a usare la fantasia e a trarre giovamento dagli aspetti giocosi dell'informatica, suggerendo, tra l'altro, nuovi mezzi e strumenti per intrattenere rapporti interpersonali e/o realizzare amicizie.

D. Norman in *The invisibile computer*, un libro che Business Week ha definito "la bibbia del pensiero post PC", esprime l'idea che la casa del prossimo futuro sarà intelligente, ma senza che tale circostanza comporti la presenza visibile di cavi e macchinari ingombranti. L'ambiente sarà pervaso di dispositivi intelligenti che coopereranno con gli abitanti per accrescere il loro comfort e la loro sicurezza.

Molta di questa tecnologia è già a disposizione dell'uomo. Questa considerazione è importante perché ci rassicura: non si sta parlando di idee di autori visionari che si realizzeranno in un non precisato futuro. Si sta trattando di tecnologie già ben consolidate che è possibile controllare e che si conoscono assai approfonditamente. Ci si muove su un territorio noto e ci si riferisce a un futuro ragionevolmente prossimo.

Si tratta di un futuro realistico nel quale si potrà contare su un rapporto uomo-macchina sofisticato e adattivo. Si potrà contare sulla costruzione di macchine dotate di (un certo livello di) cognizione e di emozioni e che comunicano in linguaggio naturale. Si tratta di un linguaggio carico di informazioni implicite, di dati d'esperienza e di conoscenze che permettono di comprendere le sottigliezze, risolvere le ambiguità, cogliere le arguzie e capire i sottintesi in una qualunque conversazione.

Ogni volta che si parla di supporto ad attività umane e cognitive ci si deve rendere conto della delicatezza del problema: da una parte, il controllo deve rimanere all'essere umano, perché non lo si vuole rendere prigioniero della sua casa e/o del suo robot assistente-personale. Al tempo stesso è necessario dotare di una certa autonomia il robot il quale

deve saper reagire a imprevisti nonché essere in grado di sopperire a difetti di memoria e/o a debolezze cognitive dell'essere umano. Per questo sono ancora necessarie tanta ricerca e sperimentazione.

## 10. CONCLUDENDO

Il programma di costruire macchine in grado di comportarsi come noi non è mai stato abbandonato: ma oggi i ricercatori di intelligenza artificiale si occupano di una disciplina scientifica matura che, pur ancorata al sogno originale, fornisce soluzioni a problemi importanti e produce sistemi utili all'uomo e alla società.

Le sfide dell'IA sono innumerevoli e promettenti. La ricerca continua, nessuno dei problemi aperti dell'IA è veramente e completamente chiuso, su tutti si continua a migliorare, in un circolo virtuoso che fa corrispondere al progredire delle soluzioni teoriche un progresso notevole della tecnologia, e dal progresso della tecnologia, vede emergere nuove sfide teoriche.

La palestra dell'IA del prossimo futuro si chiama Robocup ([www.robocup.org](http://www.robocup.org)): il progetto lanciato nel 1997 con il primo campionato mondiale tenuto proprio nell'anno in cui si chiudeva la sfida degli scacchi, vuole arrivare, entro il 2050, a realizzare una squadra di robot calciatori autonomi (che giocano rispettando le regole internazionali) in grado di sconfiggere la squadra di calciatori umani campione del mondo.

Robocup sta diventando una grande competizione internazionale che vorrebbe coinvolgere tutta la ricerca in robotica e in intelligenza artificiale; l'idea è che lo stimolo della competizione induca a integrare al meglio le diverse tecnologie che, una volta ottimizzate sul gioco del calcio, potranno poi essere trasferite a problemi concreti e significativi per l'industria e per i servizi.

Con Robocup la comunità dei ricercatori di IA sembra richiudersi intorno a un gioco, piuttosto che affrontare problemi di ricerca "seria". Il gioco è però di una difficoltà non affrontabile agli attuali livelli di conoscenza e di sviluppo tecnologico, quindi, affascina anche chi non entrerebbe mai in uno stadio per vedere una partita di pallone perché ritiene che il calcio sia un gioco ... che non richiede molta intelligenza.

## I filoni di ricerca dell'intelligenza artificiale

La moderna visione di un sistema di intelligenza artificiale consiste nel considerarlo come un agente (o una molteplicità di agenti) in grado di espletare compiti di alto livello. I filoni di ricerca verranno, quindi, qui di seguito illustrati in termini delle capacità di cui vogliamo che l'“agente intelligente” sia dotato. Elencheremo dapprima i filoni di ricerca più classici, poi quelli più moderni. Tralasciamo completamente i filoni applicativi (per esempio, “IA e medicina” oppure “IA e formazione”), che, pur richiedendo soluzioni specifiche per problemi peculiari del campo, necessiterebbero di troppo spazio.

### RISOLUZIONE AUTOMATICA DI PROBLEMI (PROBLEM SOLVING)

Gli agenti per il problem solving sono sistemi che identificano sequenze di azioni per il raggiungimento di stati desiderati. Gli algoritmi di ricerca automatica di soluzione si dividono in “non informati”, cioè sprovvisti di informazioni diverse dalla semplice definizione del problema da risolvere, e che, quindi, eseguono una ricerca uniforme nello spazio degli stati e algoritmi di ricerca “informati”, cioè provvisti di informazioni utili per individuare la soluzione. Mentre i primi diventano inutilizzabili appena la complessità del problema aumenta, i secondi possono essere molto efficaci se dotati di una buona “euristica”, cioè di una funzione che – utilizzando informazioni sul dominio del problema – permetta di guidare la ricerca più rapidamente verso una soluzione.

### RAPPRESENTAZIONE DELLA CONOSCENZA E RAGIONAMENTO AUTOMATICO

Si tratta di concetti fondamentali per l'intera intelligenza artificiale. La conoscenza e il ragionamento aiutano sia noi esseri umani che gli agenti artificiali ad avere comportamenti adeguati in ambienti complessi e/o parzialmente osservabili. Un agente basato sulla conoscenza può combinare le conoscenze di carattere generale con i dati percepiti per dedurre aspetti non espliciti e/o nascosti che possono essere utili per selezionare e scegliere tra comportamenti alternativi. La ricerca in questo campo riguarda il progetto di linguaggi, metodi e tecniche per rappresentare conoscenza su domini applicativi, e algoritmi e metodi per fare inferenze e trarre quindi conclusioni valide nel dominio di interesse. Per quanto riguarda i linguaggi, il punto cruciale è il potere espressivo (Posso rappresentare il tempo? Posso rappresentare relazioni spaziali? Posso rappresentare la conoscenza di diversi agenti in modo che essa sia “privata” per ciascuno di essi e non accessibile ad altri?). Per quanto riguarda i meccanismi inferenziali, gli aspetti cruciali sono la correttezza e la completezza, e — non meno importante — la complessità di calcolo.

### PIANIFICAZIONE AUTOMATICA

Dati un dominio applicativo, la descrizione di uno stato di tale dominio in cui l'agente intelligente si trova (detto stato iniziale), la descrizione di un obiettivo (o stato finale) che l'agente vuole raggiungere e, infine, la descrizione dell'insieme delle azioni che esso può compiere, la pianificazione corrisponde all'identificazione di una sequenza di azioni necessarie per raggiungere un obiettivo. Si parla di “pianificazione classica” nel caso in cui gli ambienti siano completamente osservabili, deterministici, statici (tali cioè per cui qualunque variazione è causata solo dall'agente) e discreti dal punto di vista temporale, delle azioni, degli oggetti, degli effetti. È facile convincersi che raramente i domini di interesse per applicazioni pratiche godono di queste proprietà. La ricerca di algoritmi efficienti (e completi) per la pianificazione automatica in ambienti non deterministici e parzialmente osservabili è oggetto di intensa ricerca.

### RAGIONAMENTO PROBABILISTICO

Spesso un agente non ha accesso a tutte le informazioni relative all'ambiente con cui deve interagire e deve, pertanto, decidere in condizioni di incertezza, basandosi, quindi, su ragionamenti di tipo probabilistico. L'incertezza modifica i modi con cui gli agenti prendono decisioni: in condizioni di incertezza la decisione più razionale è quella che seleziona le azioni che corrispondono alla più elevata utilità attesa, ottenuta mediando su tutti i possibili risultati dell'azione.

### APPRENDIMENTO AUTOMATICO E DATA MINING

L'idea fondamentale relativa all'apprendimento è quella secondo cui quanto viene percepito da un agente dovrebbe essere utilizzato non solo per il suo comportamento nell'ambiente percepito al momento presente, ma anche immagazzinato ed elaborato per accrescere la sua abilità nelle azioni future. L'apprendimento riguarda la capacità di un agente di osservare i risultati dei processi delle sue stesse interazioni con l'ambiente. Si parla di tecniche di apprendimento induttivo intendendo tecniche di tipo simbolico (per esempio, l'apprendimento di alberi di decisione a partire da esempi). Si parla poi di apprendimento connessionistico (quello che riguarda l'addestramento di reti neurali) e di apprendimento statistico (quello che si basa su tecniche di tipo statistico). Con l'espressione “data mining” si identificano le tecniche di apprendimento applicate a grandi quantità di dati (per esempio i tabulati delle telefonate immagazzinati da una grande compagnia telefonica, i tabulati dei consumi di un grande distributore) alla ricerca di regolarità, regole di comportamento ecc..

### Comunicazione

Con il termine comunicazione si intende identificare lo scambio intenzionale di informazioni mediante la realizzazione e la percezione di un sistema condiviso di segni convenzionali. La problematica della comunicazione coinvolge il linguaggio, le ambiguità dello stesso (sia strutturali che semantiche), la disambiguazione, la comprensione del discorso, i modelli probabilistici ecc.. La ricerca nella comunicazione si occupa dell'analisi e della generazione di linguaggio sia scritto che parlato, della traduzione automatica, della generazione di riassunti ecc.. Si occupa, inoltre, della interazione tra essere umani e sistemi artificiali in forma amichevole e adattiva e anche non verbale.



**PERCEZIONE**

La percezione, ottenuta mediante sensori, è necessaria per fornire all'agente artificiale informazioni sull'ambiente con cui interagisce. Tutti i tipi di percezione sono importanti e oggetto di studio. Sono stati particolarmente esplorati la percezione acustica e visiva. Per quanto riguarda la percezione acustica, la ricerca si focalizza sulla comprensione del linguaggio parlato e su quella della scena acustica (per esempio, la localizzazione di sorgenti sonore); per quanto riguarda, invece, la visione artificiale, il riconoscimento di oggetti (e non solo in particolari scene e condizioni di luce) e la comprensione di scene in movimento restano problemi aperti perché particolarmente complessi.

**ROBOTICA**

I robot sono agenti fisici artificiali che svolgono funzioni e compiti manipolando gli oggetti del mondo fisico. Per questo essi devono essere provvisti di sensori, per acquisire le informazioni necessarie *dall'ambiente*, e di attuatori per agire *sull'ambiente* (ruote, braccia meccaniche ecc.). La ricerca in robotica, che per molto tempo aveva seguito strade indipendenti dall'intelligenza artificiale, sta ottenendo una rinnovata attenzione da parte dei ricercatori di IA, soprattutto per quel che riguarda la progettazione di sistemi robotici cognitivi, cioè robot che esibiscono capacità di decisioni autonome di alto livello.

**SISTEMI MULTIAGENTE**

Un agente artificiale non agisce in situazioni di isolamento: esso deve interagire con esseri umani ma anche con altri sistemi artificiali. La ricerca su sistemi multiagente si occupa della rappresentazione della conoscenza e del ragionamento in situazioni in cui molti agenti sono presenti in un sistema, ciascuno dotato della sua conoscenza e del suo "punto di vista" sul mondo. Aspetti particolarmente importanti sono la comunicazione, il coordinamento e la pianificazione cooperativa: sono necessari affinché il sistema multiagente possa perseguire efficientemente (distribuendo il carico di lavoro o sfruttando le capacità specifiche di alcuni agenti presenti nel sistema) un obiettivo comune anche in ambienti eventualmente resi ostili dalla presenza di un'altra squadra di agenti avversari.

**PROGRAMMAZIONE NATURALE**

La programmazione naturale è quella branca della ricerca automatica di soluzioni che si occupa di riprodurre meccanismi che si osservano in natura. Rientra in questo ambito la ricerca sugli algoritmi genetici, cioè algoritmi di ricerca che simulano i meccanismi della evoluzione darwiniana di popolazioni di individui. Sono di particolare attualità gli algoritmi che riproducono il comportamento di colonie di animali quali, per esempio, colonie di formiche che — sfruttando opportuni meccanismi di comunicazione — trovano velocemente il cammino più breve verso l'obiettivo (per esempio, il cibo).

**MODELLAZIONE COGNITIVA**

La ricerca in intelligenza artificiale ha costantemente tratto lo spunto dai risultati della ricerca in psicologia cognitiva e sperimentale, e ha fornito ad essa modelli artificiali (anche se molto grossolani) del cervello. L'evoluzione della ricerca e della tecnologia porta a un raffinamento di questi modelli: una sfida per il prossimo futuro — posta dai cognitivisti inglesi — consiste nell'uso del *grid computing* come modello del cervello, e in questo caso il modello può essere più realistico, viste le dimensioni del sistema di calcolo costituito da una rete ad estensione mondiale.

**RAPPRESENTAZIONE DELLE EMOZIONI**

Una direzione recente della ricerca sulla comunicazione tra persone e sistemi artificiali è quella della comprensione e della generazione di particolari stati emotivi: in particolare quella della comprensione e generazione di situazioni umoristiche. Lo studio del cosiddetto umorismo computazionale dovrebbe, tra l'altro, aiutare a svelare i meccanismi psicologici, ad oggi non ben compresi, che consentono di cogliere gli aspetti impliciti e riposti del linguaggio naturale che danno origine all'ilarità (caratteristica, a quanto sembra, esclusivamente umana). È probabile che tali ricerche possano rivelarsi di grande aiuto nella simulazione di stati emotivi e nel miglioramento delle relazioni uomo-macchina.

**Bibliografia**

- [1] Bonarini A.: Sistemi fuzzy. *Mondo Digitale*, Anno II, n. 5, 2003, p. 3-14.
- [2] Burattini E., Cordeschi R.: *L'intelligenza artificiale*. Carocci, Roma 2003.
- [3] Buttazzo G.: Coscienza artificiale: missione impossibile? *Mondo Digitale*, Anno I, n.1, 2002, p. 16-25.
- [4] Carlucci Aiello L., Cialdea Mayer M.: *Invito all'intelligenza artificiale*. Franco Angeli, Milano 1995.
- [5] Castelfranchi Y., Stock O.: *Macchine come noi*. Laterza, Bari 2000.
- [6] Dapor M.: *L'intelligenza della vita. Dal caos all'uomo*. Springer Italia, Milano 2002.
- [7] Dennett D.: *Consciousness Explained*. Little, Brown and Company, Boston, Toronto, London 1991 [trad. it. della prima edizione: *Coscienza. Che cosa è*. RCS Rizzoli Libri, Milano 1993].
- [8] Gori M.: Introduzione alle reti neurali artificiali. *Mondo Digitale*, Anno II, n. 8, 2003, p. 4-20.
- [9] Norman D.A.: *The Invisible Computer: Why Good Products Can Fail, the Personal Computer Is So Complex, and Information Appliances Are the Solution*. MIT Press, New York 1998.

- [10] Russel S., Norvig P.: *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Second Edition, Prentice Hall, 2003 [trad. it. della prima edizione: *Intelligenza Artificiale. Un approccio moderno*. UTET-Libreria, Torino 1998].
- [11] Williams S.: *Storia dell'intelligenza artificiale*. Garzanti, Milano 2003.
- [12] Zaccaria R.: Aspettando Robot. *Mondo Digitale*, Anno II, n. 7, 2003, p. 3-18.

### Bibliografia delle Immagini

Pagina 5 – Losano M.G.: Storie di automi dalla Grecia classica alla bella époque. Einaudi, Torino, 1991. Capitolo V, figura 34, p. 102.

Pagina 16 – Luvison A.: Net economy, istruzione, tecnologie digitali, AEI, Vol. 87, n. 11, 2000, figura 3, p. 36.

Pagina 13 – Bozzo M.: La grande storia del Computer, Ed. Dedalo, Bari, 2001, p. 147.

Pagina 15 – Giuseppe O. Longo: Uomo, Computer: partita a scacchi tra esseri alieni. Corriere della Sera.

LUIGIA CARLUCCI AIELLO è professore ordinario di Intelligenza Artificiale all'Università di Roma "La Sapienza". Ha fornito contributi alla ricerca nella rappresentazione della conoscenza e ragionamento automatico ed esplorato vari settori applicativi dell'IA. Autore di circa 200 pubblicazioni, ha diretto progetti di ricerca italiani ed europei. Fondatrice e socia onoraria dell'AI\*IA, l'Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale, è Fellow della AAAI e dell'ECCAI, le associazioni americana ed europea di IA. [aiello@dis.uniroma1.it](mailto:aiello@dis.uniroma1.it)

MAURIZIO DAPOR, fisico e giornalista scientifico, è il responsabile del Laboratorio Servizi alle Imprese dell'Istituto per la Ricerca Scientifica e Tecnologica (IRST) di Trento. È autore di molte pubblicazioni di fisica computazionale, di alcuni libri scientifici e di numerosi articoli a carattere divulgativo i cui argomenti spaziano dalla fisica teorica all'intelligenza artificiale. I suoi libri più recenti sono: *L'intelligenza della vita. Dal caos all'uomo* (Springer, Milano 2002) e *Electron-Beam Interactions with Solids. Application of the Monte Carlo Method to Electron Scattering Problems* (Springer, Berlino 2003). [dapor@itc.it](mailto:dapor@itc.it)