

# Appunti di intelligenza artificiale

*Guida ad una antica questione e ad una nuova disciplina.*

*Nulla, a prima vista, può sembrare più illimitato del pensiero dell'uomo, il quale non soltanto sfugge ad ogni potere ed autorità umana, ma non è nemmeno trattenuto entro i limiti della natura e della realtà. [...] Ma, sebbene il nostro pensiero sembri possedere questa illimitata libertà, troveremo, con un esame più stringente, che esso è realmente confinato entro limiti molto ristretti e che tutto questo potere creativo della mente si riduce a niente di più che alla facoltà di comporre, trasportare, aumentare o diminuire i materiali fornitici dai sensi e dall'esperienza.*

(David Hume, Ricerche sull'intelletto umano, Sez. II)

## Successi... o utili fallimenti?

La scienza dell'artificiale sembra avere sulla scienza «naturale» questo vantaggio, che è anche un pesante fardello: essa tratta ciò che l'uomo stesso progetta e costruisce, e quindi può conoscere fino in fondo il proprio oggetto; ma è anche tenuta a realizzare e dimostrare nella pratica tutto quello che promette nelle ipotesi. Il fascino dell'ia, la speranza di comprendere il segreto dell'intelligenza esibendo modelli funzionanti della mente umana, sia pure in scala ridotta, diventa un impegno eccessivamente ingombrante e mai soddisfacibile se non ci si mette d'accordo su che cosa è modello di che, o se si dubita che l'intelligenza possa aversi a rate e a un passo per volta. Il successo di un progetto specifico e rigorosamente delimitato può essere visto come un fallimento, se appunto si commisurano i suoi limiti agli ampi spazi che ancora restano da coprire.

D'altro canto, le energie impegnate in un lavoro ai limiti del sapere e del possibile (ed anzi per qualcuno già sconfinato in ciò che possibile non è) hanno sempre effetti trasversali positivi. Come annota Bruno Bara, la macchina analitica di Babbage non risultò mai effettivamente funzionante, «ma il lavoro di Babbage trasformò in tal misura la manifattura di precisione, accelerando la trasformazione della lavorazione manuale in automatica, che il governo considerò il denaro concesso assai ben impiegato. Si inaugura così anche il concetto di fallimento utile, tutt'ora un

## Le applicazioni

cavallo di battaglia dell'intelligenza artificiale come in generale di tutte le scienze che non conoscono uno sviluppo normale, e per proseguire hanno bisogno di continue rivoluzioni tecnologiche e teoriche» (Scienza cognitiva, Boringhieri 1991, pag. 27). Il time sharing, cioè la partizione del tempo di Cpu tra più utenti in modo da poter usare «contemporaneamente» la stessa macchina, fu escogitato da McCarthy alla fine degli anni '50 per poter utilizzare con più calma il suo nuovo linguaggio di ia, il Lisp, che era interpretato e richiedeva quindi di operare interattivamente, comando per comando, senza per questo dover impegnare le intere risorse del computer dell'università. Lisp e time sharing erano indirizzati al progetto Advice Taker, un programma «dotato di buon senso» a cui dare consigli mentre girava e che a sua volta faceva nuove deduzioni e nuove domande; la questione del buon senso è tuttora in alto mare, ma in compenso le tecniche di programmazione adottate sono divenute presto un patrimonio universale. Ugualmente, l'allocatione della memoria a «elaborazione di liste» (list-processing) e il processo ricorsivo furono perfezionati nello stesso periodo da Cliff Shaw e Allen Newell per il loro Logic Theorist, che aveva esigenze di spazio e di «deviazioni di percorso» del tutto imprevedibili a priori.

## Risultati concreti

Senza addentrarci sul facile terreno delle «ricadute tecnologiche», dal Logo di Papert alla «quinta generazione» giapponese, parliamo invece delle realizzazioni più proprie dell'intelligenza artificiale. Per una panoramica d'insieme, è tradizione suddividere la materia

in capitoli distinti, anche se i punti in comune sono molto più significativi delle tendenze centrifughe. Le aree possono essere:

- a) la dimostrazione automatica di teoremi e la programmazione logica;
- b) la comprensione del linguaggio naturale;
- c) le applicazioni di robotica, che abbracciano il problema della manipolazione, della visione, del riconoscimento del parlato e della pianificazione automatica;
- d) i sistemi basati sulla conoscenza;
- e) il connessionismo e le reti neurali.

Il quadro appare ancora piuttosto frammentato, al di là della pura sovrapposizione di aree, di strumenti e di finalità: manca il disegno d'insieme, e la ricomposizione delle singole funzioni in sistemi unitari è del tutto prematura, per quanto essa sia indispensabile per raggiungere pienamente gli obiettivi di ciascuna area (si pensi all'interpretazione delle immagini, all'uso del linguaggio naturale o al tema del buon senso). Tuttavia ogni settore consegue risultati rilevanti, indici di un progresso non lineare ma costante. Con un'unica eccezione, a cui riserveremo il prossimo intervento, non approfondiremo in sede tecnica gli argomenti accennati.

## Quod erat demonstrandum

Il simbolismo logico-matematico, insieme alla teoria dei giochi, fu il primo campo di battaglia dell'ia e quello certamente oggi più maturo. Il Logic Theorist, il programma portato da Simon e Newell all'incontro di Dartmouth del '56 con Minsky e McCarthy, riuscì a dimostrare alcuni dei teoremi dei Principia Mathematica di Whitehead e Russell, ed anzi «scopri» qualcosa di originale. «In effetti — annota Pamela McCorduck — il Logic Theorist trovò una dimostrazione del teorema 2.85 più breve e più elegante di quella usata da Whitehead e Russell. Simon scrisse questa notizia a Lord Russell, che rispose compiaciuto. Tut-

tavia, *The Journal of Symbolic Logic* rifiutò di pubblicare un articolo contenente questa dimostrazione in cui il *Logic Theorist* figurava come coautore». Qualcosa di simile è avvenuto recentemente, quando un programma di computer ha fornito una dimostrazione del «teorema dei 4 colori» lunga diverse migliaia di righe (il teorema, probabilmente vero ma non ancora dimostrato «dall'uomo», asserisce che qualsiasi suddivisione del piano in aree chiuse può essere dipinta con 4 colori senza usare mai lo stesso colore per zone tra loro contigue). La dimostrazione fornita dal programma è troppo complessa per essere capita, e forse anche per essere seguita passo passo; d'altro canto, potrebbe anche risultare sbagliata, o almeno non ottimizzata e inelegante rispetto al corrispondente concetto intuitivo: per cui il problema è considerato ancora aperto.

In ogni caso, programmi per la soluzione di equazioni di terzo grado e per l'analisi di equazioni di grado superiore sono comunemente usati da fisici e matematici. Alan Bundy e Bob Weltman hanno messo a punto, a partire dal 1981, il programma *Press* per la soluzione di equazioni simboliche trascendenti. Il dimostratore automatico di Larry Wos, Ross Overbeek e Eving Lusk (1982) «ha stabilito nuovi teoremi in: algebra booleana ternaria, semi-gruppi, algebra di Robbins, calcolo equivariante, problemi di base finita, teoria dei nodi e progettazione di circuiti. Si tratta di nuove aree della matematica, in cui gli esseri umani non hanno ancora avuto secoli di coinvolgimento per sviluppare metodi, euristiche, intuizioni, piani di dimostrazione, ecc. Il programma risolve problemi aperti» (Alan Bundy, *L'automazione del ragionamento matematico*, Muzzio 1986).

Nonostante la continua frequentazione di informatica e logica, la programmazione logica introdotta da Kowalski e Colmerauer nel 1972 e implementata come *Prolog* alla *Université d'Aix-Marseille* segna una grossa novità teorica e rappresenta un potente strumento di sviluppo pratico. «L'idea che la logica del primo ordine, o almeno sostanziali

sottoinsiemi di essa, potesse essere usata come linguaggio di programmazione era rivoluzionaria, perché, fino al 1972, la logica veniva usata in informatica solo come linguaggio di specificazione o dichiarativo. Invece, ciò che Kowalski mostra è che la logica ha una interpretazione procedurale, che la rende molto efficace come linguaggio di programmazione» (John W. Lloyd, *Fondamenti di programmazione logica*, Muzzio 1986). Col senno del poi, risulta addirittura incomprensibile che tale rivoluzione teorica non sia emersa ancor prima, perché fin dal lavoro di Frege è noto che la formula  $P \rightarrow Q$  («P implica Q») può indicare sia una relazione logica tra P e Q, sia il fatto operativo che è possibile dedurre Q, posto che si conosca la verità di P. Il *Prolog* ha inoltre una interpretazione descrittiva, come base di dati relazionale con la possibilità di esprimere nello stesso formalismo anche vincoli di integrità, dipendenze, viste locali, richieste e operazioni di accesso. Infine, le singole formule possono essere viste come processi concorrenti, indipendenti dal controllo esercitato dall'interprete. La programmazione logica è infatti la migliore propedeutica all'elaborazione parallela e l'approccio più naturale a sistemi operativi non deterministici, come la «quinta generazione» giapponese ha soddisfacentemente provato. L'ultima frontiera è costituita attualmente dalla semantica dei processi perpetui e delle comunicazioni tra processi concorrenti. «Un processo perpetuo — scrive Lloyd — è un programma che non termina, ma che tuttavia esegue delle computazioni, in qualche senso, utili. Il problema è trovare il senso appropriato in cui una computazione infinita può essere utile».

### Del bel paese là dove il sì suona

Il tema del linguaggio naturale percorrere un po' tutte le aree dell'la, ma ha alcuni aspetti specifici che è difficile apprezzare senza un esame più specialistico, che in queste rapide carrellate sull'la è stato completamente evitato. Il concetto di «grammatica generativa»,

per esempio, che Noam Chomsky propose fin dal 1957 quando era ricercatore al Mit, si prestava così bene all'analisi logica e grammaticale automatica che è stato spesso adottato anche nella definizione di linguaggi artificiali e di programmazione (come l'Algol e i suoi derivati). Ma i problemi più ardui dei linguaggi naturali non si nascondono nelle eccezioni grammaticali o nelle variazioni sintattiche, quanto piuttosto nella interpretazione del significato di parole e frasi. Un approccio squisitamente linguistico come quello di Chomsky porta a identificare la «struttura profonda» di una frase, sottostante alle più diverse variazioni della sua forma sintattica esplicita, col suo significato; in realtà, la comprensione di una frase rimanda ad una rete concettuale infinitamente estesa e diversa per ogni parlante, non riducibile ad una associazione soggetto predicato-complementi e forse anteriore a qualsivoglia struttura linguistica e ad ogni pensiero coscientemente esprimibile.

Sul versante applicativo, per fortuna o per disgrazia, non si è attesa la soluzione dei profondi problemi (glottologici, semantici, ma anche antropologici e neurologici) legati all'uso del linguaggio naturale, e fin dagli anni '50 si è impostato con buon ottimismo il problema della traduzione automatica. In prima battuta, la traduzione tra due lingue sembra essere una questione di grammatica e di vocabolario, come ogni studente certamente sa. Una associazione biunivoca tra le strutture grammaticali e i termini usati si presta perfettamente ad una traslazione automatica dall'una all'altra lingua, anche in assenza di qualsiasi comprensione del significato (come appunto certe «versioni» liceali di latino o di greco ben esemplificano). Purtroppo spesso queste traduzioni parola per parola sono poco apprezzate dai professori della materia e, bisogna dire, anche da un comune utente che volesse capire per questa via una lettera commerciale o una dichiarazione di guerra. Il passaggio attraverso una «struttura profonda», unita ad un glossario delle frasi idiomatiche e ad un processo di decisione tra parole ambigue procedendo

per tematiche e vicinanze terminologiche rende il risultato già molto più gradevole, anche se restano problematici i pronomi, le ellissi e tutti i riferimenti impliciti al contesto di discorso. Ancora più aleatorio è il risultato a fronte di figure retoriche di varia origine, metafore, metonimie e tutto l'armamentario di una prosa corrente.

Ciò nonostante, il problema della traduzione automatica si considera praticamente a un buon livello di soluzione. Dopo tutto, la possibilità della comunicazione dipende dalla volontà del parlante di farsi capire e dall'interesse dell'ascoltatore a recepire il messaggio. Spesso bastano poche parole-chiave per comunicare il senso del messaggio (fatto essenziale a tutti i «vù cumprà» di questo mondo); chiunque sia stato in un paese della cui lingua conosce solo alcuni rudimenti si rende conto quale sarebbe l'immediato vantaggio anche solo di un vocabolario bilingue automatizzato. In altre parole (è il caso di dirlo), se il discorso originale è pensato in funzione degli strumenti di comprensione di colui a cui è diretto, cosa che più o meno tutti facciamo, la traduzione automatica risulta essere una interfaccia del tutto praticabile tra due interlocutori di madrelingua differente, almeno limitando il caso ai testi scritti. Per esempio, testi commerciali o tecnici composti in funzione di determinati apparati di traduzione possono risultare perfettamente comprensibili nella lingua di arrivo, a costo di qualche ridondanza o aggiustamento del testo originale se l'eventuale risposta non appare del tutto congrua: è così del resto che ogni parlante opera. In questo senso, anche il noto esempio riportato come prodotto di uno dei primi programmi di traduzione dall'inglese al russo, nel quale la frase biblica «lo spirito è forte, ma la carne è debole» divenne qualcosa come «la vodka è buona, ma la bistecca è marcia», è tutt'altro che sconcertante, e se mai la dice lunga, più che sull'onesto programma di traduzione, sulla scarsa concretezza dell'assunto di partenza.

All'atto pratico, l'incubo della traduzione automatica è più la proliferazione di linguaggi e dialetti naturali che

non la reale impossibilità a risolvere i problemi via via affrontati. Vanificata l'ipotesi che esista veramente una «struttura profonda» da cui passare necessariamente nella traduzione da una lingua all'altra, soprattutto tra lingue di ceppi differenti, e accettando come attualmente impensabile di transitare attraverso una vera comprensione del messaggio da trasmettere, il tema del «termine medio» è riemerso sotto l'aspetto del «linguaggio ponte». È evidente che occorrerebbero due programmi per ogni coppia di lingue; per viaggiare tranquillamente per il mondo, un parlante italiano ha bisogno di un'intera biblioteca di «vocabolari» italiano-x e x-italiano, a seconda dell'area linguistica x in cui si trova. In realtà, in genere si ricorre ad una lingua mediamente nota, che per i convegni tecnico commerciali è spesso l'inglese (non credere ciecamente a promesse in questo senso, quando si va a Parigi o dintorni). Allo stesso modo, stabilendo un linguaggio ponte universale basterà fornire due programmi per ogni lingua, da e per il linguaggio intermedio. La traduzione dall'italiano al francese avverrà perciò prima traducendo dall'italiano alla lingua ponte, e poi da questa al francese. Adottare però come lingua ponte convenzionale un linguaggio naturale pone sia non

indifferenti problemi di egemonia politica e di concreto vantaggio commerciale, sia una moltiplicazione algebrica delle difficoltà di traduzione, in quanto il secondo passaggio amplifica proporzionalmente le imprecisioni del primo. Una brillante e inattesa risposta a entrambe le esigenze sembra essere giunta da Ivan Guzman de Rojas, un ricercatore di origine boliviana che ha adottato come lingua ponte un dialetto di origine antichissima diffuso in Sud America nel 3000 a.c., il quale si è conservato inalterato presso alcune popolazioni delle Ande. Oltre a non porre evidentemente problemi di «grandeur», la lingua Aymara ha infatti una grammatica e una sintassi del tutto rigide e regolari; accanto al vero e al falso, ha una esplicita trattazione dell'incerto, una specie di logica modale a tre valori. L'assenza di ambiguità semantiche fa infine dell'Aymara un insieme chiuso, benché infinito, di espressioni significative, su cui è possibile definire operatori abeliani con proprietà associative e distributive. Questo, sostiene Guzman de Rojas, consente di ottenere con un semplice calcolo, dato un programma per passare da un linguaggio naturale ordinario all'Aymara, anche il programma inverso dall'Aymara al linguaggio ordinario. È sufficiente perciò un unico programma per ogni lingua,



da cui ricavare automaticamente anche il programma inverso; integrando opportunamente il lessico dell'Aymara (per esempio scegliendo vocaboli di linguaggi diffusi o artificiali, come l'Esperanto), si avrebbe una base per esprimere senza ambiguità il senso di qualsiasi testo, per poi compiere il percorso contrario, verso un'altra lingua, senza perdita di precisione. L'Atamiri, che significa «interprete», o anche Automata Traductor Algoritmico Multilingue Interattivo Recursivo Intelligente, è stato proposto nel 1986 alla CEE; all'epoca, se la cavava abbastanza bene con inglese, tedesco, spagnolo e francese. Da notare che il precedente progetto Eurotra prevedeva 42 programmi per le 7 lingue originali, diventati 72 con l'ingresso di Spagna e Portogallo: tante sono infatti le possibili coppie tra 9 lingue, ovvero  $n^*(n-1)$ . Con Atamiri, i programmi sarebbero soltanto 9. Paradossalmente, ma non troppo, sono state proprio le dimensioni dell'investimento effettuato che hanno ostacolato l'introduzione del secondo più agile approccio.

Per una versione più scorrevole o per testi di un qualche livello letterario, il lavoro di traduzione automatica va comunque completato da uno specialista del settore; in ogni caso, la produttività del traduttore sale dalle 5-10 pagine al giorno a 50 e più. Inoltre, si può pensare a revisori che non abbiano necessariamente una conoscenza approfondita della lingua di partenza e che semplicemente aggiustino e rifiniscano la versione fornita dal computer. Tra i traduttori automatici presenti sul mercato, uno dei più completi è quello fornito dalla Toshiba per la traduzione dall'inglese al giapponese, la cui affidabilità è valutata intorno al 90%. Ovviamente programmi di questo genere non sono i più adatti al mercato italiano; è veramente incredibile che anche in questo campo l'atteggiamento dei «produttori» di software sia fatalisticamente ancorato alla tradizione suicida del: «aspettiamo che qualcuno all'estero sviluppi qualcosa e poi acquisiamo i diritti per la distribuzione italiana». Persino nel campo dei word-processor dobbiamo accontentarci di edizioni «in

italiano» che propongono la divisione in sillabe inglese (alt ezza) e non sanno riconoscere le forme verbali, ad esempio per la correzione automatica degli errori di battitura.

### **A domanda rispondo... English, of course!**

Una seconda area in cui il linguaggio naturale viene padroneggiato utilmente dai programmi di computer è l'interrogazione di archivi e, più in generale, l'attivazione di ricerche e elaborazioni complesse. L'utente vorrebbe poter esprimere la propria richiesta con parole ordinarie, lasciando alla macchina la scelta delle procedure più appropriate, l'individuazione dei data-base implicati e la formulazione dei rispettivi comandi di interrogazione, oltre che la ricomposizione della risposta. Un prodotto di una certa ambizione, o perlomeno con significative credenziali scientifico-culturali, è quello fornito dalla Cognitive Systems, società fondata da Roger Schank, presidente del Dipartimento di Computer Science e direttore del progetto Intelligenza Artificiale dell'università di Yale. Schank ha sviluppato il concetto di «script» a partire dal suo Scripts, Plans, Goals and Understanding del 1977; in sostanza, lo script è una possibile interpretazione della situazione, un modello tipico a cui fare riferimento per la comprensione o l'azione. I concetti primitivi che compaiono negli script sono tra loro collegati in una rete semantica sempre più fitta, di cui ogni script offre una diversa prospettiva. Aggiungendo al sistema la capacità di generalizzare, più script vengono riassunti e schematizzati in Mop (Memory Organization Packet, pacchetto di organizzazione di memoria), che hanno la funzione di fornire le aspettative e di riorganizzare l'informazione che giunge in input. A loro volta i Mop risultano associati per somiglianza e per gerarchie di generalizzazioni successive. La comprensione del testo, o meglio, di storie e fatti ruotanti intorno ad argomenti circoscritti, passa attraverso questa complessa rete concettuale, in parte modificandola (memoria a lungo termine), in parte se-

dimentandosi in una specifica base informativa (memoria a breve termine). A questo punto il sistema è in grado di rispondere a semplici domande sui personaggi, gli eventi e le conseguenze della storia introdotta. I pacchetti applicativi proposti dalla Cognitive Systems vengono sviluppati su misura a seconda dell'area di interessi del cliente; il sistema Explorer rispondeva alle esigenze di una compagnia petrolifera. Versioni più commerciali offrono uno shell per la personalizzazione di un linguaggio di interrogazione interfacciabile coi più diffusi data base relazionali, e sono recentemente assistiti anche sul mercato italiano (sfortunatamente, operano soltanto in lingua inglese).

Il più noto interfaccia in linguaggio naturale è comunque Intellect, sviluppato dalla Artificial Intelligence Corporation di Larry Harris e commercializzato con notevole successo fin dal 1980. Nato come facile strumento di accesso ai database Ibm, è oggi compatibile con quasi tutti i Dbms disponibili in ambiente Ibm, dal mainframe al personal computer. Una volta definiti i Db da considerare e le relazioni tra i dati, Intellect risponde direttamente a richieste formulate in lingua, traducendole nelle opportune istruzioni di interrogazione e integrazione dei dati. Se l'interrogante usa termini non noti al sistema, si apre un breve dialogo volto a determinare la definizione più esatta; da quel momento in poi il nuovo termine è prontamente riconosciuto e liberamente utilizzato. Per ciascuna sessione di interrogazione, Intellect costruisce un modello contestuale in modo da risolvere non solo ambiguità semantiche e terminologiche, ma anche riferimenti tramite pronomi, aggettivi dimostrativi o soggetti impliciti. Il sistema vanta attualmente 600 grosse installazioni; è commercializzato dalla AiCorp Italia del Gruppo Formula. È probabile tuttavia che l'utente italiano sia tentato di arrestarsi al primo della dozzina di benefici che il depliant assicura, cioè «the ability for non-technical managers and users to access data directly, using ordinary English»: finché il linguaggio naturale è sempre e comunque «l'inglese ordinario», buona parte delle potenzia-

lità di una «consultazione intelligente» si perde stupidamente per strada.

### Le avventure di Braccio-di-ferro

L'automazione del lavoro meccanico ha una storia e un impatto produttivo molto anteriore alle ricerche in intelligenza artificiale. La Macchina Analitica di Babbage, prototipo a ingranaggi del moderno computer elettronico, si è anzi ispirata agli automatismi industriali dell'epoca, il telaio meccanico programmabile mediante schede perforate. Distinguere nell'evoluzione del macchinario industriale una componente «robotica» da inscrivere nel filone dell'ia è sempre un'operazione arbitraria e convenzionale, complicata dal fatto che negli ultimi decenni l'industria ha abusato del termine «robot», di sapore futuristico ed efficientistico. (Il fondatore della Robots U.S. Corporation, sorta nel lontano 1955, era amico e ammiratore di Asimov, lo scrittore di fantascienza che ha consacrato il nome e il mito della «robotica»). Si usa distinguere alcune «generazioni» di robot, dal braccio manipolatore che ripete ciecamente la medesima (ferrea) sequenza di movimenti, al braccio programmabile, alla macchina che individua ostacoli o differenti orientamenti del pezzo e modifica di conseguenza, momento per momento, la propria azione. Il tema delle applicazioni belliche e industriali della robotica avanza-

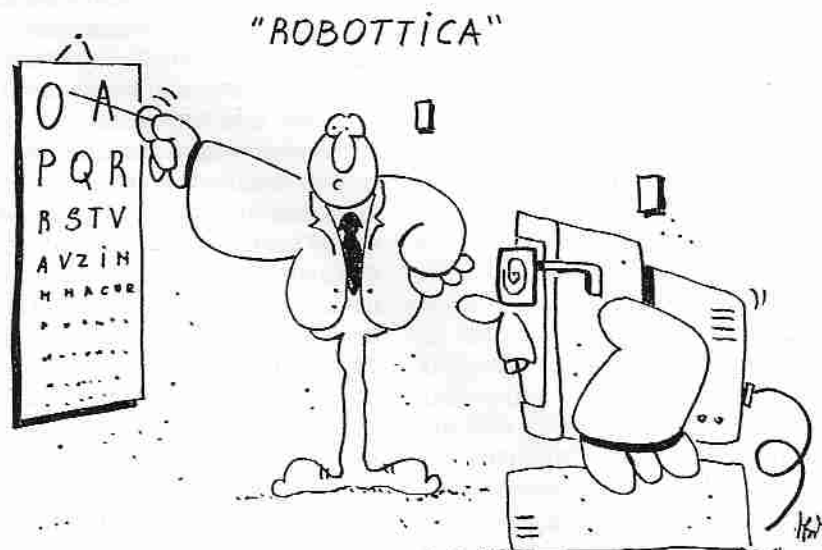
ta è comunque troppo specializzato, e sottoposto inoltre ad ogni tipo di brevetto e di segreto militare, per poterne avere un quadro preciso ed aggiornato. Il tempio della robotica mondiale è per unanime consenso l'Università Carnegie-Mellon; dai suoi laboratori è uscito il robot mobile, con tre telecamere e autonoma capacità di districarsi tra ostacoli e detriti, che nel 1979 esplorò i locali contaminati dopo l'esplosione alla centrale nucleare di Three Mile Island. Il suo ideatore, Red Whittaker, nel 1984 ne costruì una seconda versione, una struttura d'acciaio di oltre due metri dotata di un robusto braccio manipolatore per le operazioni di decontaminazione, in grado di aprirsi un varco fino alla camera di fusione. Anche se l'aspetto meccanico non è affatto secondario e i problemi delle libertà di movimento di ogni singola giuntura sono cruciali per la composizione automatica delle singole azioni da coordinare, le ricerche più interessanti riguardano l'integrazione con la capacità ricettiva della macchina, ovvero i sensori tattili, magnetici, sonar e radar di cui ci si può giovare per il riconoscimento di ostacoli e obiettivi (senso esterno) e per il controllo retroattivo del movimento stesso (senso interno). Ovviamente la via più «naturale» per raccogliere informazione sull'ambiente in cui muoversi resta l'interpretazione di immagini in movimento, che però affianca a incoraggianti successi parziali alcuni

punti di arresto, autorizzando dubbi e perplessità sulla strategia complessiva da adottare. Può darsi che la via computazionale e algoritmica, che pure comincia ad essere percorribile mediante l'elaborazione parallela e l'analisi simultanea dei molteplici aspetti e delle varie parti dell'immagine, debba lasciare il posto ad approcci più pragmatici, quali quelli suggeriti dal connessionismo neurale. Anziché calcolare a priori la giusta combinazione di movimenti per manipolare un certo oggetto, potrebbe convenire affidarsi alla «esperienza» diretta di una rete connessionistica che registri tentativi e fallimenti fino a convergere verso aggiustamenti via via più efficaci.

### Vizi e virtù dei mondi virtuali

La manipolazione a distanza e il telecontrollo di macchine robotiche ha aperto una prospettiva che più di ogni altra si mostra gravida di imprevedibili conseguenze culturali e sociali. Se il flusso di informazioni in arrivo e le reazioni di ritorno tra macchina e controllore umano spaziano per tutti i sensi principali (vista, udito, tatto, senso dell'equilibrio) con una veridicità sempre più convincente, l'operatore non è più in grado di distinguere la propria situazione spazio-temporale dalla realtà artificiale entro cui viene proiettato. Il nostro cervello ha una grande plasticità e una innata attitudine a reinterpretare il flusso di sensazioni come esperienza direttamente vissuta e non tarda ad immergersi totalmente nella scena che gli viene fornita.

La capacità di «immedesimarsi» in vicende fantastiche, che trova la sua prima espressione biologica nel sogno, è stata sempre sollecitata da varie forme di comunicazione sociale, dal linguaggio alla musica alla narrazione, per giungere al teatro e alla filmografia. Ma la separazione tra finzione e realtà, rafforzata da riti magici e da veli simbolici (come il sipario tra palcoscenico e platea), ha sempre giocato a favore di un conclusivo aumento di consapevolezza di sé, di una riassimilazione critica dell'evento che si è vissuto. Lo spaesamento tipico di ogni immersione in



«mondi virtuali» va invece in tutt'altra direzione ed è difficile dire in che misura potrà diventare un fatto altrettanto naturale.

Per un verso, la prospettiva è affascinante. Applicando visori binoculari, una cuffia acustica, sensori sulla posizione degli occhi e della testa (in modo da far corrispondere la prospettiva della scena ai movimenti stessi dell'osservatore), l'impressione di essere sul posto è totale. «Si provava effettivamente

Ogni volta che giravo la testa oppure la muovevo verso l'alto o il basso, l'immagine trasmessa alle mie retine risultava assolutamente coerente con quella che avrei visto a occhio nudo. [...] Mentre seguivo il flusso dei miei pensieri, qualcuno nel laboratorio si diresse verso le videocamere montate sul robot e le girò in modo che fossero puntate su di me. Durante la manovra ebbi l'impressione che le pareti mi ruotassero attorno e poi, quando il movimento si arre-

profondità marine, o dello spazio, fatto salvo il problema del ritardo nella comunicazione elettromagnetica se la distanza è eccessiva) «affittando» temporaneamente un opportuno robot già presente sul posto, spostando per così dire la mente senza far viaggiare il corpo.

A questo punto, nulla di più facile che sostituire il robot remoto con una simulazione a computer che riproduca tutto quello che il robot avrebbe visto o avrebbe fatto. Il cerchio si chiude. Come possiamo distinguere se c'è veramente un robot che ci rappresenta sulla scena reale, o se si sta svolgendo una specie di film interattivo, a nostro uso e consumo, con immagini sintetizzate a computer ed eventi simulati con piena plausibilità? In effetti gli attuali simulatori di volo si affidano pienamente a queste nuove strategie, arrivando a riprodurre anche le accelerazioni e le scosse corrispondenti al movimento del veicolo virtuale (tranne, si spera, l'impatto mortale conseguente ad una manovra imperfetta!). Il visitatore che al Mit, al Carnegie-Mellon o alla Waseda si immerge in una corsa di Formula 1 o in un'esplorazione in piena giungla, nella quale vede e sente la «propria» mano entrare nel campo visivo e spostare liane tenaci e resistenti, non può reprimere sudori freddi e tremori reali; è veramente l'analogo di ciò che accadde al primo pubblico dei fratelli Lumière, che si riversò urlando fuori della sala quando il treno puntò sulla platea? È appunto l'industria del divertimento, a partire dall'esplosivo mercato dei videogiochi, che sta sostituendosi nei finanziamenti al tradizionale committente militare. Il mondo virtuale non conosce limiti, né nella qualità tecnica dell'«esperienza», né nella fantasia di ciò che può accadere; in una società dominata dalla povertà dei rapporti umani e dall'incubo dell'Aids, si può immaginare un largo mercato anche di prodotti esplicitamente erotici e pornografici, magari in versione full-body.

## MONDI VIRTUALI



— narra Grant Fjermedal, ospite del laboratorio d'Ingegneria Meccanica dell'Università Waseda di Tokyo — la sensazione di trovarsi dentro il robot, di osservare il mondo dall'interno del suo chassis, anziché dal proprio corpo. Dentro al casco, c'erano due ricevitori televisivi, uno per ciascun occhio, calibrati in modo tale che l'immagine venisse riflessa sulla retina di ognuno, esattamente come se si stesse guardando senza l'ausilio di alcuna apparecchiatura. Ogni movimento della testa, inoltre, veniva riprodotto dal robot, sul quale erano state collocate con estrema precisione due videocamere che trasmettevano le varie immagini, così come le avrebbe viste un essere umano. La profondità e il campo visivo umano erano riprodotti in modo così fedele e i colori erano così nitidi, che all'inizio rimasi confuso e, poco dopo, mi sentii addirittura deliziato da quella vista.

stò, mi ritrovai a guardare la mia figura; iniziò così la vera e propria esperienza extracorporea. Era come se stessi in piedi a guardare me stesso in un altro corpo, a pochi centimetri di distanza».

Tutto questo può servire per ispezionare per interposto robot luoghi pericolosi o inaccessibili, mandando al nostro posto una macchina telecomandata. Gli «arti» del robot possono essere comandati riproducendo i movimenti rilevati sul corpo dell'operatore, permettendo così un controllo, oltre che facile e immediato, anche estremamente preciso. Un microrobot di questo tipo potrebbe effettuare operazioni chirurgiche dall'interno del paziente, o comunque in posizioni non raggiungibili altrimenti — anche se per la verità le applicazioni attuali sono quasi esclusivamente militari. Si potrebbe visitare qualunque punto della terra (o delle

### Mente e corpo

Questi sviluppi della robotica come propaggine e amplificazione dei nostri

sensi e dei nostri arti sembrano essersi allontanati dal tema dell'intelligenza artificiale e del controllo autonomo della macchina. In realtà l'obiettivo di dare un corpo e una sensibilità alla «mente artificiale» è stato indicato dai teorici stessi dell'Ia come condizione essenziale per lo sviluppo di una «visione del mondo» assimilabile a quella di una intelligenza biologica. «Quelli che sono sempre in movimento hanno in generale una vita più ricca di quelli che sono radicati in un posto» sostiene Hans Moravec nel saggio «I vagabondi». «Studiando la nostra evoluzione di animali vagabondi possiamo raggiungere almeno una conclusione universalmente valida: l'intelligenza sembra essere una conseguenza della mobilità. Io credo che le stesse forze siano all'opera nell'evoluzione tecnologica dei robot e che, analogamente, i robot mobili ci aiuteranno a risolvere alcuni fra i problemi più ostici dell'intelligenza artificiale: problemi quali la programmazione del buon senso e l'apprendimento dall'esperienza sensoriale» (da *La Robotica*, a cura di M. Minsky).

Più in generale, difficilmente un programma di Ia potrà dimostrare un qualche livello di «comprensione» restando cieco e sordo, rinchiuso in un astratto mondo matematico e formale; solo fornendolo di capacità sensoriale e motoria si può pensare che sviluppi «conoscenze» paragonabili alle nostre. Se macchine robotiche come quelle per la telepresenza saranno abbastanza sofisticate da ingannare perfettamente la nostra mente, sostituendosi con efficacia al corpo biologico, probabilmente saranno anche una buona interfaccia tra i programmi di Ia e il mondo esterno. Tuttavia il successo delle «realtà virtuali», per cui la telepresenza diventa invece una esperienza all'interno di mondi simulati e fantastici, porta al collasso di tutta la teoria sulla necessità di fornire un corpo alla mente artificiale. Se infatti dovessimo insegnare a un sistema di Ia a pilotare un aereo, lo proveremmo innanzitutto su un simulatore di volo; sarebbe ridicolo però dotarlo di sensori per percepire quello che il simulatore riproduce, perché sarebbe sufficiente fornirgli direttamente

i singoli impulsi, ovvero... farlo comunicare direttamente col programma del simulatore. In conclusione, l'esperienza più completa in fatto di «impressione di volo» sarebbe per la mente artificiale il colloquio con un altro programma! Sembra confermato lo schema tipico delle ricerche in Ia, in cui per esempio c'è una funzione di generazione ed una di selezione, un programma di simulazione del problema e un programma che tenta di risolverlo; se il programma di simulazione raggiunge la completezza e la ricchezza del nostro mondo sensoriale (od anche la supera, perché può aggiungere altri «sensi» ed aumentare indefinitamente il potere di risoluzione), potrà benissimo fungere da palestra ideale per l'intelligenza artificiale.

Questa smaterializzazione dell'esperienza non significa affatto il bando di ogni antropomorfismo, anzi: il mondo virtuale resta qualcosa di immaginato secondo la nostra struttura psicologica e sensoriale, mantiene forme caratteristiche del nostro modo di concepire (forme trascendentali, direbbe Kant); almeno finché, ponendoci al simulatore, ciò che accade ci sembrerà plausibile. Non è detto però che una mente artificiale ne ricavi la medesima «impressione»: il buon senso e la visione del mondo di un sistema di Ia potrebbe riservare grosse sorprese.

### **Amminoacidi, metempsicosi e immortalità**

Le attuali applicazioni della robotica comprendono una infinità di settori, sorti anche soltanto utilizzando separatamente le singole capacità che un buon robot dovrebbe sommare in sé. Oltre al riconoscimento tramite immagini, anche la sensibilità «tattile» è ampiamente utilizzata dall'industria meccanica per manipolatori che raccolgono il pezzo, lo incastrano o l'avvitano con la giusta pressione, smistano il semilavorato e così via. Altrettanto dicasi per l'interpretazione dei segnali sonar o radar, o perfino dei segnali «olfattivi» (per il rilevamento di fughe di gas, livelli di inquinamento, ecc.). Ormai

utilizzabile su larga scala è infine il riconoscimento del parlato, per interfaccia con normali sistemi di elaborazione: l'individuazione di parole singole è notevolmente precisa, soprattutto se le conoscenze dell'analizzatore sono integrate da un addestramento sul tono, l'accento e la pronuncia dell'utente finale.

Ma vi sono dietro l'angolo concezioni della robotica ancora più nuove e sconvolgenti. Una riguarda le macchine molecolari, che rappresentano una estensione della microrobotica al di là dell'immaginabile. Un calcolatore molecolare non è affatto più fragile o più labile di un normale chip di silicio. Per esempio, una molecola di rodopsodina, una proteina utilizzata dai bastoncelli della retina per trasformare il raggio luminoso in impulsi elettrochimici, «può essere rimossa dai batteri, collocata su un pezzetto di plastica e continuare per anni a funzionare a una velocità sorprendente e in maniera estremamente prevedibile». Utilizzata come memoria di massa, darebbe teoricamente ad una superficie pari a quella di un floppy disk la capacità di 200 milioni di megabyte, se il raggio laser di lettura e scrittura avesse una messa a fuoco tanto precisa. «Le proteine batteriche sono estremamente stabili — continua Robert Birge, direttore del Centro di Elettronica Molecolare del Carnegie-Mellon — e non c'è alcun motivo di credere che non possano durare dieci, quindici o vent'anni all'interno di un dispositivo». Utilizzando molecole biologiche, si possono riprodurre meccanismi di calcolo elementare, come le porte And o Not; se si riuscisse ad incanalare le capacità autostruttive e riproduttive delle catene di amminoacidi, sistemi di calcolo estremamente complessi potrebbero essere assemblati e continuamente mantenuti in efficienza da qualcosa di analogo ai ribosomi che partono dall'Rna per sintetizzare le proteine della cellula biologica. Secondo Kevin Ulmer, della divisione di tecnologia della Genex Corporation, una società che si occupa di genetica, «le proprietà di autoassemblaggio dei sistemi biologici sono la caratteristica chiave che ci permetterà di creare com-

plesse strutture molecolari in grado di svolgere funzioni interessanti, come per esempio quella di eseguire calcoli». Eric Drexler, esperto di ingegneria genetica e molecolare al Mit, propone di realizzare computer molecolari meccanici tramite strutture atomiche di carbonio della durezza del diamante, e di fornir loro un corpo robotico per muoversi all'interno di una cellula, utilizzando un braccio-robot per riparare o modificare il Dna. «Grazie a queste macchine — sostiene Drexler — è possibile entrare in una cellula e compiere gli interventi necessari. E poiché le macchine sono più piccole di una cellula, ogni cellula può avere in dotazione la propria. Non verrebbero certo a costare più dei batteri e sappiamo che procurarsi dei batteri è facilissimo. Le potremmo ottenere da macchine capaci di autoreplicarsi. Si potrebbero costruire dei veri e propri assemblatori. Facciamo un esempio: programmiamo un assemblatore in modo che ne fabbrichi molti altri. Si programmano poi questi ultimi perché costruiscano gli strumenti che vogliamo, per esempio macchine ripara-cellule». Una popolazione di macchine ripara-cellule potrebbe per esempio modificare le caratteristiche di un organismo, dotarlo di nuove capacità, o contrastare la malattia e l'invecchiamento (da Grant Fjermedal, *I Creatori del Domani*).

Se si considera che questi metodi di lavoro non sono molto diversi da quelli applicati già oggi dall'ingegneria genetica, non stupisce che gli esperti del settore si muovano con naturalezza tra ipotesi e fantasie sempre più audaci. In particolare, un'idea ricorrente sembra essere quella del downloading, cioè la possibilità di riprodurre completamente l'attività cerebrale e di riversarla in un cervello artificiale, montato su un corpo robotico virtualmente immortale. Minsky, Hillis, Sussman o Moravec, tutti sembrano prendere molto sul serio l'ipotesi, in un futuro non troppo lontano, di trasferire la mente su un diverso supporto, non condizionato dalla fragilità e caducità del corpo umano. Anche se stiamo abituandoci al connubio di naturale e artificiale, ad innesti più o meno ispirati ai cyborg della fan-

tascienza, il downloading implica qualcosa di più. Trasferire il «programma» che gira nel cervello riprodurrà veramente le funzioni che il programma svolgeva nel sistema originario? (Chiunque si occupi di compatibilità del software, di protocolli di comunicazione e di sistemi operativi per processori diversi, avrà forse da osservare qualcosa). In ogni caso, l'eventuale riproduzione di copie di noi stessi, copie che immediatamente vivono esperienze diverse e quindi diventano «altre» da noi, cambierà forse il nostro sentire e la nostra personale sorte? Perché Hans Moravec ritiene che la possibilità di riprodurre varie copie «del contenuto del cervello» permetterebbe di considerarle «copie di riserva, una sorta di superpolizza di assicurazione sulla vita»? È lecito dubitare che il senso dell'io e la continuità della coscienza possano essere trasferiti in una qualsivoglia copia (o forse in tutte, contemporaneamente?); il sapersi «duplicato» non può rendere meno unica ed irripetibile l'esperienza soggettiva. Possedere varie copie di un ricercatore brillante è un buon investimento e un'ottima polizza per la sua ditta, ma non si vede come possa modificare il modo d'essere e di sentire del soggetto «originale». Forse ha ragione Weizenbaum quando ammonisce contro chi sostiene «che l'intelligenza del computer soddisfa lo scopo dell'evoluzione, cioè quello di sviluppare e diffondere ulteriormente l'intelligen-

za nell'universo. Questa tesi porta rapidamente la gente a concludere che, in realtà, un genocidio dell'intera specie umana non sarebbe poi tanto grave; che non tutto andrebbe perduto e che non è il caso di versare tante lacrime. Sono convinto che tutto questo sia una grande assurdità e anche un'assurdità pericolosa, perché in un certo senso fornisce una base scientifica e filosofica per il genocidio della specie umana». ■

**Luciano Bazzocchi**

(5 - continua)

#### BIBLIOGRAFIA

Alan Bundy, *L'automazione del ragionamento matematico*, Muzzio 1986.

John W. Lloyd, *Fondamenti di programmazione logica*, Muzzio 1986.

Roger Schank, *Memoria dinamica*, Marsilio 1987.

Leo Sorgo, «Culture lontane», in *Scienza Duemila*, aprile 1987.

Igor Aleksander e Piers Burnett, *Il robot diventa realtà*, Edizioni Comunità, Milano 1987.

Peter B. Scott, *La rivoluzione robotica*, Muzzio 1987.

Marvin Minsky (a cura di), *La robotica*, Longanesi 1987.

Grant Fjermedal, *I Creatori del Domani*, IHT 1990.

**office<sup>®</sup>  
automation**

**Dal 15 febbraio siamo in  
Via Martiri Oscuri, 3  
20125 Milano**

Per comunicare i nuovi indirizzi sono:  
**Tel. 02/26148855 (4 l.u. in r.a.)  
Fax 02/26149333**



la  
Dossier del mese  
**I Kits, oggi**  
Inchiesta  
Ultime novità dalle Lan (3ª parte)

l'organizzazione

l'automazione e le comunicazioni dell'ufficio

# office<sup>®</sup> automation

SOIEL INTERNATIONAL - 20125 MILANO, VIA MARTIRI OSCURI 3 - MENSILE - ANNO DODICESIMO - N. 2, FEBBRAIO 1992 - SPED. IN ABB. POST. GR. III/70

## M-16N

Il sistema intercomunicante telefonico  
integrato da SAM: la segreteria  
telefonica multilinea



**TiE<sup>®</sup>**  
TIE ITALIA S.p.A.

UNA ESCLUSIVA

**SIP**