

ASPETTANDO ROBOT



La Robotica è una disciplina vastissima le cui radici culturali affondano nella storia e nella letteratura. L'impiego industriale dei Robot è iniziato negli anni '40 del secolo scorso; da allora, la sua evoluzione è andata almeno di pari passo con quelle dell'Informatica, dell'Elettronica e della Meccanica. Oggi si assiste probabilmente all'inizio di una nuova era, in cui il Robot opererà a stretto contatto con gli esseri umani, aiutandoli nei compiti della vita quotidiana e accompagnandoli nel tempo libero.

Renato Zaccaria

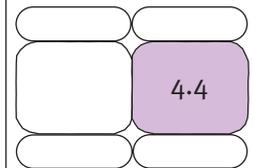
1. INTRODUZIONE

Pensare di riuscire a delineare in poche pagine un quadro sufficientemente completo, aggiornato, obiettivo, esauriente e allo stesso tempo chiaro della Robotica è presunzione forse per chiunque. Chi scrive ha iniziato a occuparsi di Robotica subito dopo la sua tesi di laurea, a metà degli anni '70, e ha avuto la non comune fortuna di appartenere fin dalle origini al miglior gruppo di ricerca possibile in questo campo: un gruppo pluridisciplinare con interessi diversificati in architetture informatiche, intelligenza artificiale, sistemi operativi, controlli automatici, bioingegneria, neuroscienze, scienze cognitive, telecomunicazioni; ognuno di questi argomenti, degnamente, ha che fare con la Robotica, senza esaurirne le esigenze scientifiche. Nessun settore della scienza, della tecnologia e del mercato ha mai avuto, infatti, un così ampio spettro di competenze e componenti disciplinari come la Robotica. A quelle che sono state già citate se ne devono aggiungere molte altre come le tecnologie dei materiali, l'elettronica – quella di potenza in particolare – e

l'elettrotecnica degli attuatori e degli impianti, l'ottica, l'acustica, l'elaborazione delle immagini; e, ultima ma non meno importante, la meccanica con le metodologie e tecnologie relative. In questo catalogo di discipline incompleto, che sarà approfondito nel paragrafo successivo, sta il grande limite alla crescita della Robotica; è difficilissimo se non impossibile, infatti, coltivare allo stesso livello di profondità le competenze necessarie, o anche solo poche fra tutte. Per questo la Robotica *non è*, ancora, una scienza, ma l'unione di scienze, discipline e tecnologie diverse ancora in attesa di una comune teoria, di un linguaggio che unifichi meccanica e *software*, algoritmi e materiali; insomma, di una matematica unica e di regole progettuali standard.

2. VERSO UNA SCIENZA

Molti passi in questo senso sono stati fatti, coronati anche da successo; il termine *meccatronica*, comune in Robotica, esprime la sintesi fra tecnologie meccaniche, attuatori ed elettronica di controllo; una teoria unifica-



ta della descrizione del movimento per robot mobili e manipolatori di generica geometria (il cosiddetto approccio del *configuration space*, teoria matematica basata sull'integrazione di meccanica razionale, calcolo vettoriale, geometria differenziale, algoritmi di ricerca e altri temi) è stata elaborata negli anni '80 ed è ora una vera metodologia della Robotica; lo stesso vale per metodi di visione artificiale, per linguaggi di descrizione dei compiti e dispositivi per controllo e regolazione di manipolatori e così via. Ma non appena si esce da situazioni standard, quali possono essere, ad esempio, la sequenza di operazioni di assemblaggio in una linea di produzione, il progettista robotico diventa rapidamente un artigiano che è costretto a inventare le metodologie di progetto e gli strumenti di sviluppo. Non c'è rimedio a questo problema, se non lavorare sulla ricerca di base e mantenere ad alto livello le *skill* del tecnico robotico.

3. L'AMPIEZZA DEL SETTORE

Se poi si pone attenzione alle tendenze sia di ricerca, sia di espansione dell'industria verso nuovi mercati, si deve, necessariamente, allungare l'elenco di discipline con nomi di recente acquisizione, per la Robotica, come la biomeccanica, le nanotecnologie, la modularità meccanica e funzionale, gli "ambienti intelligenti" (*smart house*), la "tecnologia dell'emozione" (*kansei*), la psicologia, l'*edutainment* (*education-entertainment*) e i modelli ad agenti.

Con un così ampio fronte tecnico-scientifico si capisce perché parlare di Robotica *tout court* non è possibile. In questo contributo ci si limiterà, anche per ragioni di spazio, a una serie di brevi paragrafi su alcuni temi specifici che si ritengono più attuali e significativi, legati, in particolare, al già vasto settore IT (*Information Technology*), puntualizzando che molti altri argomenti resteranno inesorabilmente assenti. Alcuni, in realtà pochi, dei termini dei tre elenchi tematici sopra riportati saranno espansi e commentati in questi paragrafi.

Quelli che non saranno citati sono altrettanti titoli dietro ai quali possono esser lette storie affascinanti, per le quali l'autore spe-

ra almeno di riuscire a suscitare la curiosità del lettore.

4. "STILL WAITING FOR ROBOTICS"

Il titolo di questo articolo, *Aspettando Robot*, sintetizza il pensiero, comune a tutti i ricercatori in Robotica, secondo cui una *scienza robotica* è, per le ragioni espresse poc'anzi, un'attesa colma di speranza. Allo stesso tempo, il Robot che si sogna (autonomo, intelligente, "simpatico", probabilmente *asimoviano*) è ancora lungi da venire, nella ricerca come nel mercato.

Aspettando Robot è anche un titolo "rubato" a un saggio del 1987 [3] in cui 32 ricercatori italiani esprimevano le loro considerazioni sull'Intelligenza Artificiale, con molti riferimenti alle applicazioni in Robotica, molto interessanti da rileggere oggi. Uno di questi ricercatori era Marco Somalvico, professore del Politecnico di Milano, dal quale dieci anni prima chi scrive, come altri amici e colleghi, aveva appreso le prime definizioni rigorose sulla Robotica; insegnamenti, che egli, appassionato come pochi, dispensava assieme alla passione per la ricerca, senza gelosie, sia agli allievi del suo gruppo che a chiunque altro dimostrasse sincero interesse. Marco Somalvico è scomparso inaspettatamente pochi mesi fa, e a lui che è stato pioniere della ricerca in Robotica in Italia è dedicato con affetto sincero e con vera commozione questo articolo, con l'augurio che nella storia di questa disciplina il suo nome venga sempre ricordato.

5. LA STORIA E LE FASI

Non c'è una sola data per la nascita ufficiale della Robotica. Anche se spesso vengono schematizzate fasi storiche simili a quelle delle "generazioni" del calcolatore e dell'elettronica digitale, l'evoluzione del robot – anche solo di quelli industriali più classici – è fatta di molti episodi significativi, in ambiti non necessariamente tecnico-scientifici. L'invenzione del termine stesso "Robotica" (*Robotics*) è normalmente attribuito a Isaac Asimov che lo introdusse nei suoi famosi racconti sui *robot positronici* alla fine degli anni '40. Fino a quell'epoca il robot era sostanzial-



mente un fatto letterario e cinematografico (il primo robot del cinema è *Maria*, in *Metropolis* di F. Lang, 1926). Contemporaneamente, però, i primi telemanipolatori venivano costruiti e usati per gestire in sicurezza sostanze radioattive. In essi erano già presenti le componenti base dei robot manipolatori attuali, cioè una catena cinematica articolata con un *end effector* (una pinza), con motori che azionavano i vari assi rotazionali nei giunti, un dispositivo di controllo analogico di posizione su di loro, e un'interfaccia di comando che oggi si possono definire *haptic*: un esoscheletro articolato, un *master*, azionando il quale si controllano identici movimenti del manipolatore remoto (*slave*). Si può quindi, presumibilmente, situare nella seconda metà degli anni '40 la nascita dei robot meccanici per uso pratico; nei telemanipolatori erano presenti le tecnologie e le metodologie di qualunque robot successivo a esclusione, ovviamente, di quella informatica: meccanica, elettrica, elettronica, teoria del controllo.

La prima idea di uso diverso e industriale di queste tecnologie è della metà degli anni '50; all'inizio degli anni '60 la statunitense *Unimation Inc.* introduce sul mercato *Unimate*, il primo manipolatore industriale *ante litteram*. Da quel momento, si sviluppa un'industria robotica e un mercato in veloce espansione, per molto tempo limitato ai bracci manipolatori, che anzi sono ancora oggi il robot industriale per antonomasia (la definizione "ufficiale" ISO è, infatti, quella del manipolatore per applicazioni di fabbrica). Negli stessi anni, viene sviluppata l'indispensabile teoria di base per la descrizione e il controllo del movimento in geometrie di bracci qualsivoglia: il contributo dell'informatica, in questa fase storica, è marginale.

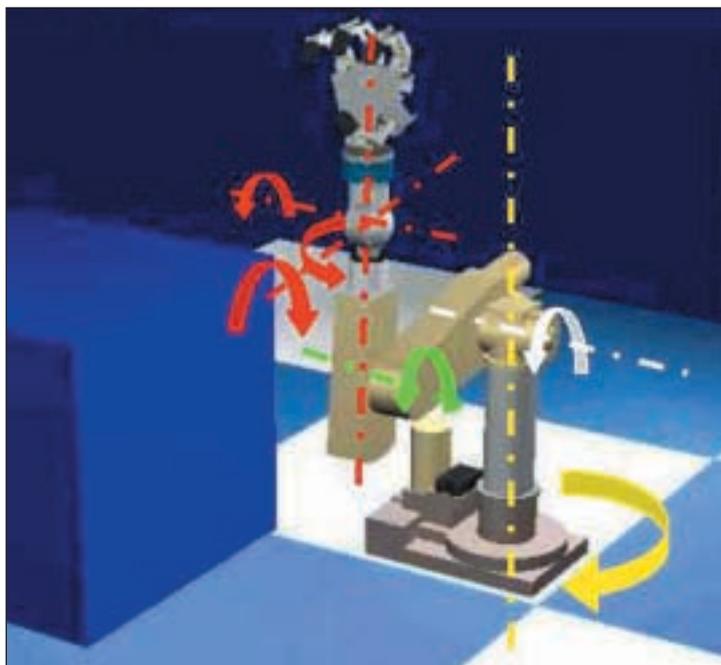
6. OLTRE LA FABBRICA

Il Giappone inizia a occuparsi di Robotica con quasi dieci anni di ritardo, alla fine degli anni '60, con le prime applicazioni nell'industria automobilistica (il Giappone importò ufficialmente il primo manipolatore statunitense nel 1968). Nel 1971, nasce la *Japanese Industrial Robotic Association* (JIRA), che ha influito sullo sviluppo di tutta l'industria ro-

botica per i successivi venticinque anni. È negli anni '70 che l'industria robotica mondiale assume una presenza non marginale, con un cospicuo mercato per i suoi prodotti: oltre a Unimation, AMF, Cincinnati, Adept, IBM negli USA; Fanuc, Yaskawa, Seiko, in Giappone e ABB, Kuka, DEA, Comau, in Europa. La guerra commerciale si svolge sul terreno della complessità e della versatilità dei bracci manipolatori, legata sostanzialmente al numero e al tipo dei suoi *gradi di libertà*, che determinano le capacità di articolarsi in posizioni e orientazioni diverse della sua "mano" (*end effector*). Come paragone comune, il braccio umano (antropomorfo per eccellenza) ha, articolazioni della mano escluse, sette gradi di libertà, mentre sei è il minimo teorico per portare l'organo terminale in qualunque posizione e orientazione all'interno dello spazio di lavoro. I robot manipolatori a sei gradi di libertà (Figura 1), che in industria sono detti comunemente *antropomorfi*, sono diventati uno standard alla fine degli anni '70, con il *Puma* della Unimation Inc., ancora oggi comune in molti laboratori di ricerca. Si tratta di un manipolatore a sei assi, con carico di poco più di un chilogrammo, con pinza intercambiabile, e spazio di lavoro di 2 m circa. A parte i miglioramenti nei materiali e nelle prestazioni (peraltro di non più di un ordine di grandezza, mentre le

FIGURA 1

Schema di un tipico braccio manipolatore a 6 gradi di libertà (o 6 assi) su cui è montato un particolare organo di presa



prestazioni dei sistemi di calcolo sono aumentate, contemporaneamente, di un fattore almeno 10^6 , si veda a tal proposito la Figura 2), questa geometria e queste caratteristiche di massima si ritrovano nella maggior parte dei modelli attuali (Figura 3).

Il Giappone costruì da zero nella decade degli anni '70 un enorme mercato interno per la Robotica industriale, influenzando in modo decisivo sul resto del mondo.

Nel 1982, la JIRA preparò, su richiesta del Ministero dell'Industria e del Commercio Internazionale, uno studio molto profondo sull'industria robotica nazionale dal titolo *The Robotic Industry of Japan – today and tomorrow* che fu al tempo stesso visionario, nel senso positivo di preveggenza e ambizioso, e miope. Quel documento fu il segno e il sostegno dell'influenza economica, tecnologica e culturale che la Robotica giapponese impose al resto del mondo. Il documento partì da un dato impressionante: in meno di

10 anni, il mercato interno aveva già assorbito quasi 80.000 robot, in gran parte manipolatori ma anche AGV (*Automated Guidance Vehicle*), impiegati nell'industria manifatturiera, di cui il 75% fra automobilistica, elettrodomestici, plastica.

L'industria robotica contava 290.000 addetti su 150 società con prevalenza di grandi imprese, mentre le PMI rappresentavano il 90% dei nomi ma solo il 9% degli addetti.

Per un rapido raffronto, basti considerare che 20 anni dopo (2000) il Giappone contava circa 400.000 robot al lavoro, l'UE 170.000 e gli USA 90.000.

Il documento della JIRA fu visionario per diverse ragioni. Innanzi tutto, propose come strategia di sviluppo una definizione di robot industriale ben più ampia di quella vigente, e ancora oggi avanzata: "Un sistema [...] capace di eseguire funzionalità diversificate con molti gradi di libertà [...] con funzionalità sensoriali e di riconoscimento per comportamenti autonomi (*intelligent robot*)". In più, oltre ad affermare ufficialmente l'esistenza di un mercato per un simile *robot intelligente*, in netto contrasto con l'impostazione classica delle macchine a *Controllo Numerico* (NC), si spinse molto più in là di quanto studi analoghi facessero in America e in Europa, proponendo alla R&S in Robotica industriale un elenco stupefacente di settori non manifatturieri: *agricoltura, allevamento, foreste, oceano, edilizia, logistica e trasporti, gas, acqua e fognature, elettricità e telecomunicazioni, posta, energia, nucleare, spazio, medicale, riabilitazione, protesi, rifiuti, emergenze e disastri, difesa, ordine pubblico, servizi,*

FIGURA 2
L'evoluzione della capacità di calcolo, secondo Moravec, per soddisfare gli obiettivi futuri di Robocup

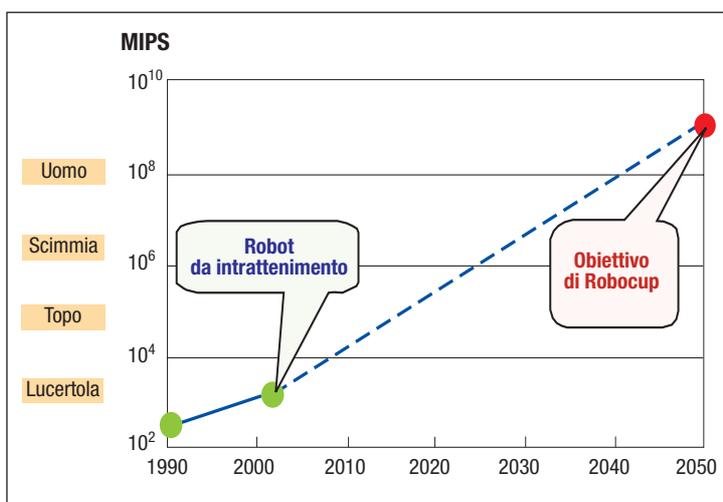
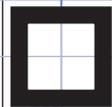


FIGURA 3
Una mano con quattro o cinque dita può avere 10 - 15 gradi di libertà e una ventina di motori





educazione e scuola, traffico urbano, manutenzione, pulizia.

Ognuno di questi settori fu previsto come settore di applicazione e di espansione del mercato. Terza lungimiranza fu l'analisi delle attività di R&S industriali e universitarie e la proposta del loro potenziamento mirato per far fronte ai mercati di nuova definizione.

A fronte di queste caratteristiche "illuminate", nel documento è presente una sorprendente miopia: l'autolimitazione di riferirsi unicamente al mercato interno, con totale assenza di studio e previsioni su quello internazionale. Questa visione autarchica è, probabilmente, il motivo per cui lo sviluppo non ha seguito i livelli di innovazione previsti. I ritorni dai mercati internazionali sarebbero dovuti avvenire grazie alla maggior competitività dei prodotti *low-tech* e *hi-tech* giapponesi realizzati da un'industria robotizzata, in una società robotizzata e, quindi, più competitiva, restituendo in via indiretta gli ingenti investimenti impiegati in una Robotica industriale "di quinta generazione" non venduta direttamente all'estero. La fragilità di questo assunto è evidente, e ad esso si può ricondurre il mancato sviluppo che non inficia la corretta analisi dei mercati potenziali della *Robotica intelligente* (si veda a tal proposito il paragrafo sulle prospettive future). Anche qui... si sta *aspettando robot*.

7. LA CULTURA E LA FICTION

La *fiction* ha sempre giocato un ruolo culturalmente significativo, nella Robotica, e questo non ha probabilmente paragoni in altre discipline o tecnologie. Un grande settore tecnologico molto legato alla letteratura da 2000 anni è, per esempio, quello della nave e del mare (a partire dall'Odissea, per esempio, il cui autore è considerato il primo ad aver introdotto dei robot nella narrazione, pur in un piccolo ruolo marginale). Eppure, la portata di quella sinergia tecnologia/fantasia non è paragonabile a questa fra automa e vivente, e soprattutto non è altrettanto bidirezionale nelle influenze. Oltre ai modelli logico-letterari di Isaac Asimov, dai quali pochi esperti in Robotica possono prescindere, negli anni '50 il cinema sviluppò modelli di pura fantasia ma con un impatto immaginifico che

nessun robotico ha mai potuto trascurare negli anni successivi.

L'icona forse più famosa di robot antropomorfo della storia è quella di Robby ne *Il Pianeta proibito* (*The Forbidden Planet*, 1954, film "dotto" ispirato a *La Tempesta di Shakespeare*). Robby è un robot asimoviano, cioè buono e dotato di personalità e integrato nella storia a pieno titolo: è il folletto Ariel del riferimento shakespeariano. Ancora oggi, esistono *club* di appassionati di quel robot e aziende che ne commercializzano modelli anche in grandezza naturale. Gli attuali robot da "compagnia" e antropomorfi giapponesi sono la realizzazione industriale, alla fine, di quell'idea di robot di cui 45 anni fa si producevano modellini giocattolo in latta, con i quali si giocava da bambini. In questo senso, si può parlare di "rivincita" dell'effimero in Robotica rispetto al concreto; oggi, esiste un emergente mercato per robot ideati puramente per il divertimento o la compagnia (*entertainment robotics*), o l'aiuto nella vita quotidiana (*service robotics*, *robot companion*, *edutainment robotics*) che sviluppa in un certo senso il modello del robot della letteratura rispetto a quello della fabbrica (che discende, a sua volta, dal modello tayloristico di radici settecentesche). Sul tema dell'*entertainment robotics* si accennerà in un paragrafo successivo.

Come è stato già ribadito, in Robotica l'immaginario e il letterario hanno sempre avuto un'importanza di gran lunga superiore a quanto accade in altre discipline, e continuano a contribuire in modo virtuoso allo sviluppo della conoscenza e addirittura, come accade nell'*entertainment*, a delineare nuove applicazioni. Ciò non deve sorprendere: il robot è l'Essere Artificiale, presente nei miti, nelle fantasie e nelle speculazioni dell'uomo da duemila anni e più. Questo mito si è espresso nei secoli della meccanica in un'inimmaginabile varietà di robot da intrattenimento apparentemente senza scopo, in cui si estrinsecava l'interesse puramente speculativo dell'uomo verso la definizione di cos'è la vita e verso la ricerca di una *vita artificiale* (*artificial life* è, non a caso, uno dei termini con cui oggi si riconoscono ricercatori che investigano l'*emergere spontaneo* di comportamenti complessi a partire dall'interazione



FIGURA 4
 Alcune generazioni di robot giocattolo Sony. A sinistra l'umanoide SDR-4X: 38 gradi di libertà, riflesso di autoprotezione in caso di caduta, 2 videocamere e 7 microfoni

di comportamenti di semplici robot autonomi). La fantastica storia degli automi nei secoli (questo nome è stato sostituito nelle lingue occidentali dalla parola *robot*, a partire dagli anni '30; anche questa sostituzione, come è noto, viene dalla letteratura, anzi dal teatro) è narrata, per esempio, in *Storie di automi* [2]. La conoscenza del complesso, e per molti versi ancora inesplorato, universo "robot fantastico/robot reale" ha incuriosito molti autori sia tecnici, sia umanisti; si veda, per esempio, *Dizionario degli esseri umani fantastici e artificiali* [5], in cui è tentata una incredibilmente meticolosa classificazione dei percorsi culturali, immaginifici, scientifici e tecnologici degli "esseri" riconducibili a robot, reali e fantastici. Ancora per ribadire la forte presenza del cinema nella Robotica, oltre che citare la fortunata serie di robot che il cinema ha riscoperto negli ultimi 15 anni, è utile ricordare la serie di film anche di "categoria B" degli anni '40-'60 in cui l'idea di robot si formava a volte con rara preveggenza pur se con povertà di effetti speciali. Un film poco noto, *Attacco a base spaziale USA* (GOG, 1954) mostra con sorprendente rigore scientifico l'impiego di robot mobili, usando termini attuali, con manipolatori a bordo, in un centro di ricerca automatizzato, integrati in rete e controllati da un elaboratore centrale operante in *real time*. Non solo queste elaborazioni fantasiose partecipavano al processo di aggiornamento della cultura diffusa con scienza e tecnologia, ma facevano anche sviluppare, lentamente e poi sempre più velocemente, il settore della Robotica "effimera", quella dei modelli animati per il cinema - in cui pioniere fu l'italiano Carlo Rambaldi - per i parchi divertimenti a tema, fino agli at-

tuali robot "da compagnia" come il cane ALBO o il recente piccolo umanoide SDR-4X, entrambi della Sony, e simili (Figura 4).

8. INFORMATION TECHNOLOGY E ROBOTICA INDUSTRIALE

L'Informatica, o più in generale l'IT, ha iniziato a giocare un ruolo chiave relativamente tardi nella Robotica Industriale. Nella preistoria della Robotica, le tecnologie dominanti erano la meccanica, l'elettrica, l'elettronica e le tecniche di controllo automatico. Negli anni '60, le tecnologie informatiche raggiungevano, invece, l'apice in automazione di fabbrica con le macchine a *Controllo Numerico* (NC) in cui unità logiche di controllo (all'inizio semplici reti logiche, e poi reti programmabili, dispositivi flessibili come i *Programmable Logic Controller*, i microcontrollori...) regolavano ogni singolo asse delle macchine. Nel 1970, al *Machine Tool Show* in Chicago fu enunciato un principio che ha fatto molta strada: il *Direct Numerical Control* (DNC), o integrazione degli algoritmi di controllo numerico dei molteplici *assi* a livello dell'*intera fabbrica* (con un controllo centralizzato della produzione), entrando in sinergia con il giovane CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Il robot era per natura adatto a sviluppare questa perfetta integrazione; CIM e Robotica sono divenuti per trent'anni un binomio inscindibile, in cui l'IT è substrato teorico, metodologia e anche costo prevalente di sviluppo. L'evoluzione del robot ha perciò iniziato a seguire, dai primi anni '70, tutte le tappe fondamentali dei sistemi operativi, dei linguaggi, delle reti informatiche, degli standard e delle metodologie per l'automazione della produzione. Si sono create unità di controllo sempre più intercambiabili, con interfacce ai *fieldbus* per automazione. Si sono definiti standard, come STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*) per la comunicazione fra modelli CAD (*Computer Aided Design*) e PDM (*Process Data Management*). Attualmente, si stanno diffondendo modelli OLE Microsoft (*Object Linking and Embedding*) per controllo di processi per l'interconnessione di macchine di produttori diversi, come pure standard basati su XML (*eXtensible Markup Language*).

Fra il 1997 e il 1999, il mercato internazionale ha avuto per la prima volta una leggera flessione, in cui solo il Giappone ha avuto un calo di vendite, seguito da una ripresa che ha riportato in aumento il 2000. Dedurre che il mercato della Robotica industriale sia saturo non è corretto. Piuttosto, il problema è da ricercarsi nelle necessità di rinnovare i modelli produttivi e vecchie o ingenuità politiche di impiego dell'IT (forse le stesse ingenuità che hanno portato al collasso delle imprese *dot-com* in poco più di un anno). Questa necessità sta comportando una sempre più raffinata integrazione fra le tecnologie di ingegneria del software, reti di automazione, applicazioni in real time, sistemi informativi, Internet e modelli di progettazione, pianificazione e gestione, anche basati su virtualità e simulazione. In queste si sta rivelando un valore aggiunto della componente IT cui gli stessi enti di formazione non sono pronti a far fronte, aprendo un problema di *digital divide* di cui parlerà nel seguito. Lo sviluppo dei modelli B2B (*Business to Business*), in particolare, si sposa molto bene con l'impiego di robot, flessibili e riconfigurabili. L'esempio della svedese *Sandvik Coromant*, produttrice di utensili da taglio per macchine automatiche, è interessante a questo proposito. Un cliente, in qualunque parte del mondo, può progettare il proprio utensile via *web*, tramite un CAD messo a disposizione in rete, con la possibilità di concludere il proprio ordine in Internet. Se il prodotto è standard viene spedito entro 24 h. Altrimenti, attraverso il sistema informativo, e i sistemi PDM e MRP (*Master Production Schedule*), che comportano la programmazione dei robot in automatico, viene avviata la produzione con una consegna garantita in due settimane.

Non è per niente vero, quindi, che il mercato della Robotica manifatturiera sia saturo. Il problema è far fronte a nuovi modelli che chiedono, oltre all'abbattimento dei costi, di aumentare la velocità e la flessibilità. Il classico settore dell'automobile, ancora fondamentale per la Robotica, richiede attualmente di migliorare qualità e velocità: negli USA, il tempo di attesa per un'automobile acquistata tende ad essere di una settimana, in Europa di sei. Tutte le proiezioni del mercato individuano ancora per almeno cinque anni,

a tecnologia costante, una crescita costante, con un mercato potenziale di 980.000 robot nel mondo contro i 750.000 del 2000. Benché in senso assoluto le prestazioni dei robot non siano evolute che di pochi ordini di grandezza dal 1970 (un'infima quantità rispetto ai miglioramenti dell'IT), solo negli ultimi 10 anni i prezzi dei robot sono calati fra il 45 e l'80%, mentre il costo del lavoro nei paesi tecnologicamente avanzati è aumentato del 40%; il tempo di obsolescenza di un robot va dai 10 ai 15 anni, mentre l'età media dei lavoratori aumenta in modo preoccupante in tutti i Paesi industrializzati. Anche l'aumento delle prestazioni, in assoluto non elevato rispetto ad altre tecnologie, mostra un tasso di crescita in aumento: fra il 1990 e il 2000, la capacità di carico manipolato (il *payload*) è cresciuta del 26%, la precisione del 61%, la velocità del 39%, il MTBF del 137%, il massimo numero di gradi di libertà del 45%. Tutte queste cifre si riflettono, ovviamente, sulla produttività. Mentre dal lato "informatico" (quello che determina realmente costi e produttività), cioè la programmazione e l'integrazione nella rete della fabbrica, il robot ha tutto il beneficio delle moderne tecnologie software e di sistema.

È facile concludere che l'ascesa prevista negli anni '80 da studi come quello citato del JIRA della Robotica nell'industria è stata rallentata dall'imprevedibile rottura delle barriere fra Est e Ovest e fra Nord e Sud del mondo, con la disponibilità temporanea di lavoratori qualificati a costi più bassi. È, tuttavia, molto probabile, e certamente anche socialmente auspicabile, che questa "concorrenza" fra uomini e robot in fabbrica sia destinata ad attenuarsi nel prossimo futuro.

9. NON SOLO MANIPOLATORI (I)

È stato citato il telemanipolatore negli anni '40, il braccio manipolatore negli anni '60, l'integrazione fra Robotica e CIM negli anni '70 e '80, i robot per il cinema e il divertimento. Altre nascite nella famiglia robotica sono state importanti. Non è noto quando sia nato il primo veicolo robotizzato autonomo (il primo *robot mobile*). Generalmente, questo primato viene attribuito a Shakey, prototipo presso lo *Stanford Research Institute* nel 1967, che era

dotato di sensori di tocco, telecamera, controllo digitale in real time e componenti di Intelligenza Artificiale. Da allora in poi, la tecnologia del veicolo robotizzato (AGV) si è sviluppata sia in ambito di ricerca sia in applicazioni industriali nella movimentazione, e fa ora parte a tutti gli effetti dell'automazione della fabbrica. In realtà, gli attuali robot industriali sono quasi essenzialmente bracci manipolatori applicati a vari settori specifici, più i veicoli mobili che realizzano tutte quelle attività di trasporto non convenienti da realizzare con macchine apposite (per esempio, convogliatori a nastro o a rulli). La fotografia dell'impiego dei robot industriali mostra attualmente (dati 2000) il 6,8% in lavorazioni (taglio, finitura...), il 12,2% nelle materie plastiche stampate, il 22,4% in assemblaggio, il 2,8% nel packaging, il 23,9% nella saldatura, e 11,8% nel trasporto, più un 20% in altre attività varie. L'AGV ha, quindi, un proprio settore ben definito, considerato che in tutti gli altri vengono impiegati bracci manipolatori. Il settore degli AGV è particolarmente interessante, visto che si basa su *know how* specifico con la possibilità di sviluppare un proprio mercato al di fuori della fabbrica: nella Robotica di Servizio, nell'automazione della guida delle automobili, dei sistemi di trasporto e movimentazione sulle banchine portuali e dei treni.

Un altro settore degno di nota è la saldatura robotizzata, che ha campi di applicazione diversi dalla fabbrica tradizionale, molti dei quali ancora da sviluppare; se è già presente nella cantieristica navale, può ulteriormente estendersi verso l'impiego a bordo, nello spazio, l'impiego subacqueo, le pipeline, le costruzioni metalliche in genere. Ed è da notare che, rispetto alle tecnologie robotiche industriali, la saldatura robotizzata richiede la gestione di sensori e l'integrazione con sistemi informativi e PDM, quindi lo sviluppo e l'impiego di conoscenze di maggior valore, tutte di tipo IT.

9.1. Non solo manipolatori (II)

L'evoluzione scientifica e tecnologica del Robot è costellata di molti episodi, piccoli e grandi: sarebbe impossibile elencarli tutti e dare a ciascuno di loro il giusto risalto. Ricordarne alcuni permette, però, di introdurre la differenza fra Robotica Industriale e la ricerca

in Robotica. Quest'ultima, è un'attività oggi estremamente differenziata nelle sue componenti disciplinari. Non è troppo semplificato affermare che, dal punto di vista storico, la ricerca in Robotica ha sviluppato soprattutto cinque settori: la *meccanica/meccatronica*; la *teoria del controllo*; le *tecnologie dei materiali* (per le parti strutturali, gli attuatori e i sensori); i *sistemi di programmazione*; l'*Intelligenza Artificiale*. In questi settori, fra l'altro, si è verificata la massima interazione con il contesto industriale. Non si parlerà, in questo contesto, per evidente mancanza di spazio, dei primi 4; d'altra parte, qualche accenno si trova, comunque, negli altri paragrafi. L'*Intelligenza Artificiale* (IA), invece, ha un legame così forte con la Robotica da richiedere alcune precisazioni.

L'IA [4] nasce indipendentemente dalla Robotica [1], anche se in quasi tutte le sue specifiche branche, anche le più teoriche, ha comunemente fatto riferimento a paradigmi robotici nello sviluppo delle sue teorie. La nascita ufficiale risale a una proposta di un gruppo di ricercatori (John McCarthy, Marvin Minsky, Alan Newell, Herbert Simon e Arthur Samuel) in uno storico convegno nel lontano 1956. Secondo una definizione estesa, il suo obiettivo è quello di studiare "tecniche che permettono di progettare [...] *hardware* e [...] *software* capaci di fornire [...] prestazioni che, a un osservatore comune, sembrerebbero essere di pertinenza esclusiva dell'intelligenza umana". Cioè si propone di "migliorare ed estendere le prestazioni" di un sistema informatico (e, quindi, anche un robot comandato da un calcolatore) rendendolo più flessibile, riconfigurabile, autonomo e con cui dialogare in modo migliore e più efficace (le citazioni fra virgolette in questo paragrafo sono tratte da Marco Somalvico, *Emula e non simula*, in "Aspettando Robot", [3]). Questo è stato fatto non necessariamente studiando e simulando i meccanismi propri della mente umana, bensì sperimentando e scegliendo "il modello [...] che garantiva [...] le migliori prestazioni". Il modello fondamentale era, e continua a essere, quello basato sulla *logica computazionale*, ovvero su teorie e rappresentazioni logiche nelle quali un dimostratore automatico universale, efficientemente imple-



mentato su una macchina digitale, ha il compito di risolvere il problema; con la particolarità che del problema non è necessario inventare una soluzione algoritmica ma “soltanto” una opportuna descrizione (rappresentazione della conoscenza) con un linguaggio di derivazione *logica* (dichiarativo anziché procedurale - quest’approccio era, fra l’altro, quello tentato e purtroppo fallito nel progetto della cosiddetta *quinta generazione* dei calcolatori). Rispetto alla rigidità iniziale, questi metodi hanno rapidamente prodotto capacità di gestire l’incertezza e il “rumore” dei dati del mondo reale, estendendo la logica con concetti di *fuzzyness* o di statistica, divenendo così adatti ad applicazioni in Robotica reale.

In Robotica, l’approccio dell’IA ha, in qualche modo, diviso le comunità dei ricercatori di cultura informatica, con i seguaci della IA “pura” orientati a risolvere problemi di più ampia portata e generalità (come la rappresentazione di ampie categorie di compiti, l’interpretazione di scene, la generazione di piani complessi di azioni, la diagnostica automatica, i sistemi di dialogo ad alto livello con un operatore, e simili), mentre altri robotici meno legati alle metodologie basate sulla logica computazionale si sono dedicati alla programmazione efficiente, alla risposta veloce ai sensori, alla definizione di algoritmi per problemi specifici di visione e movimento e così via. Questa distinzione è, però, molto schematica e vale per i primi trent’anni del settore. L’IA, in effetti, abbraccia oggi una grande varietà di approcci metodologici orientati al comportamento autonomo e intelligente del robot. All’inizio degli anni ’90, in un dibattito interno “fondazionale” suscitato da Rodney Brooks, è emersa una linea che negava la centralità alla *rappresentazione della conoscenza* e faceva *emergere* il comportamento intelligente dalla organizzazione, o autorganizzazione, di entità autonome semplici o elementari, dotate di scarsa o nulla capacità di rappresentazione. In molti casi, è stato introdotto l’apprendimento in forma di autorganizzazione con o senza *reward/punishment*. Senza entrare nel dettaglio e, quindi, con una certa dose di approssimazione, questo filone metodologico è rapidamente cresciuto

comprendendo macchine a stati distribuite (*subsumption, behavior architecture*), reti neurali, sistemi *genetici*, e altri approcci come quello dei sistemi *ibridi* in cui si cerca di far cooperare i due modelli computazionali alternativi (quello *logico* e quello *procedurale*). Il primo modello, infatti, è efficiente in attività più astratte come pianificazione, interazione uomo-macchina, memorizzazione; l’altro nel controllo ed esecuzione (i cosiddetti aspetti *reattivi*). Un recente settore dell’IA, che dedica molta attenzione nell’unire questi aspetti, è specialmente rivolto alla Robotica sotto il nome accattivante di *Cognitive Robotics*.

Robotica e IA nascono più o meno contemporaneamente, quaranta anni fa. C’è da chiedersi quanto l’IA abbia, fino ad oggi, influenzato la Robotica negli aspetti di mercato (che è appannaggio, si è detto, della Robotica Industriale). La risposta necessariamente riflette una visione personale, ed è inevitabilmente ambigua. Benché sia stato citato Shakey come primo caso di robot mobile che integrava sensori e movimento: Shakey era, infatti, un esperimento di IA applicata alla Robotica, chi scrive non crede che l’IA abbia contribuito *direttamente* e in modo rilevante alla Robotica “di mercato”. Non sembra che esista alcuna tecnologia che sia il risultato di un trasferimento diretto di un risultato di ricerca in IA alla Robotica Industriale. Ciononostante, si ritiene che il contributo dell’IA sia, e sia stato, fondamentale e non occasionale per almeno tre ragioni. La prima è che l’IA è un “generatore di obiettivi”: senza la spinta degli obiettivi ambiziosi che l’IA poneva innanzi alla Robotica *Intelligente* (o *autonoma*), non si sarebbe mantenuto il *trend* di ricerca e di innovazione che ha migliorato le tecnologie correnti. La seconda è che l’IA è un grande “generatore di *set-up* sperimentali” standard e avanzati (di cui Shakey è il primo) offerti alla comunità di ricerca in Robotica. Spesso questi *set-up* di riferimento – anche solo teorici, a volte tacciati di costituire *toy world* su cui costruire teorie – si affermano spontaneamente attraverso le pubblicazioni scientifiche; in molti casi, attraverso eventi internazionali, quali le *robot competition* dell’AAAI (*American Association for Artificial Intelli-*

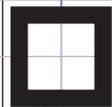
RoboCup (www.robocup.org) è un progetto internazionale rivolto all'Intelligenza Artificiale, alla Robotica e alle discipline collegate, che propone un problema di riferimento standard a tutti i ricercatori del mondo. In questo esperimento – una partita di calcio fra robot completamente autonomi – metodologie e tecnologie diverse debbono venir integrate al meglio, sotto la spinta della gara e del gioco. Il paradigma del gioco del calcio robotizzato si è rivelato perfettamente adatto a stimolare ricerca e innovazione trasferibili a problemi significativi nell'industria e nei servizi. RoboCup si pone come meta finale - entro il 2050 - un incontro fra una squadra di *umanoidi robot* e la squadra (di umani) campione del mondo, in cui la squadra di robot possa vincere. In questo senso, l'obiettivo è simile a quello che si è posto per molti anni la famosa *partita a scacchi* fra uomo e computer, vinta per la prima volta dal computer *Deep Blue* nel 1997. Proprio in quell'anno RoboCup è nato nella conferenza IJCAI-97 a Nagoya, dopo quasi 5 anni di preparazione. Mantiene al suo interno tre componenti: RoboCupSoccer (gioco del calcio), RoboCupJunior (educazione in Robotica rivolta ai giovani) e RoboCupRescue (applicazioni dei risultati tecnico-scientifici di RoboCup al campo dei grandi disastri e calamità naturali). Nella RoboCupSoccer si giocano partite in simulazione, fra robot mobili (su ruote), e fra robot "con zampe", bipedi compresi. L'Italia fino al 2000 partecipava, a differenza degli altri *team*, con un'unica squadra nazionale in cui robot diversi, e ricercatori di diverse Università si integravano, raggiungendo notevoli risultati. Attualmente, vi partecipano team di diverse sedi universitarie italiane.

genza) fino alla recente **RoboCup** (che quest'anno avrà il suo appuntamento internazionale a Padova) che costituisce, probabilmente, l'esperimento scientifico più grande mai organizzato per numero di studiosi partecipanti e per durata negli anni. E sull'importanza di esperimenti standard, ripetibili e accessibili alla comunità internazionale nessuno può essere in disaccordo. La terza e ultima ragione è che molti dei sogni dell'IA applicata alla Robotica potrebbero avverarsi quando i mercati si aprissero ai robot intelligenti proposti da quarant'anni dall'IA; e questo, come si vedrà nel paragrafo successivo, sembra prossimo (forse non si dovrà *aspettare robot* ancora molto a lungo). Con tutti i limiti che un'analogia può avere in questo campo, si potrebbe dire che l'IA sta alla Robotica come la Formula 1 sta all'industria automobilistica: spinta all'innovazione e terreno di prova per tecnologie che nessuna azienda potrebbe permettersi. E perché no: anche *business* e divertimento!

10. UNA EVOLUZIONE COMPLESSA

Diversi eventi tecnologici piccoli e grandi hanno fatto sviluppare la Robotica Industriale; in molti, indirettamente, c'è l'effetto di un risultato IT o IA in particolare. L'evoluzione dei linguaggi e ambienti software ha influito in modo determinante. In origine le *unità di governo* erano elaboratori dedicati con linguaggi di programmazione propri di bassissimo livello. Ciò era conseguenza soprattutto delle limitatezze

delle CPU usate. Il Personal Computer IBM del 1981 ha scatenato un processo evolutivo inarrestabile di miglioramento di prestazioni che si è riflesso anche sulle architetture di controllo. Maggior potenza di calcolo a basso costo significa flessibilità nel software e crollo delle barriere fra ambienti di programmazione diversi, interoperabilità, connessioni in rete. Anche se ancora molte difficoltà esistono per ragioni di politiche commerciali, oggi costa 10 volte meno programmare, riprogrammare, integrare il robot nell'architettura della fabbrica automatica. Come per la cinematica dei bracci robotizzati è stato fondamentale lo studio sistematico alla fine degli anni '60 (il noto *teorema di Pieper* è del 1968), per gli AGV è stato importante il formarsi di una teoria unificata del problema della *navigazione*, grazie a J. Borenstein (1995), con la conseguenza di sviluppare metodi algoritmici standard (un caso di tecnologia *soft*). Già dalla fine degli anni '80, si era diffuso il dispositivo tecnologico commerciale che ha permesso la diffusione degli AGV: la "testa *laser* rotante" che serve al calcolo della posizione mediante tecniche di triangolazione o di filtraggio adattativo. I robot mobili devono molto al famoso dott. Land della *Polaroid*, la cui rivoluzionaria macchina istantanea del 1978 possedeva un economico misuratore di distanze a ultrasuoni. Questo componente è lo standard da quindici anni per i sensori di prossimità a basso costo usati in tutti i robot da laboratorio e in non molte ancora applicazioni industriali, a causa della mancanza di sicurezza intrinseca. Un sensore che ha aggiunto, invece, le indispen-



sabili caratteristiche di sicurezza alla capacità di ricostruire l'ambiente circostante è l'altrettanto famoso *laser scanner* usato in molti AGV come in alcuni dei primi robot mobili per impieghi civili, diffuso alla fine degli anni '90. È inutile dilungarsi sugli effetti dell'evoluzione dell'elettronica e, in particolare, quella digitale: quale sia il progresso dall'elettronica di controllo di fine anni '50 a quella di oggi è conoscenza comune.

La visione artificiale è terreno tipico dell'IA, e di questa condivide la sorte di "componente di Formula 1"; è un campo che ha fornito immensi risultati scientifici a partire dagli anni '70 e pochi specifici sottoprodotti adatti al robot in fabbrica. Questi sono limitati sostanzialmente a misure bidimensionali rese accessibili dalle economiche tecnologie di *imaging* (telecamere, ottiche, schede di acquisizione e conversione) che provengono dal mercato di consumo. Ma occorre prestare molta attenzione alla visione artificiale disponibile al campo robotico (cioè di velocità tale da operare in tempo reale), e non bisogna commettere l'errore di ritenere lo stato dell'arte come adatto ad applicazioni soltanto di laboratorio. L'assenza *de facto* di applicazioni al campo della Robotica Industriale non sembrerebbe giustificata, vista la capacità delle tecniche consolidate di Visione Artificiale di risolvere problemi sensoriali comuni, come rilevare la posizione di un oggetto o individuare un ostacolo da evitare, o anche di localizzare con precisione un robot mobile mediante immagini dell'ambiente. Il vero problema è che le tecniche di visione, per loro natura, non permettono la quantificazione di specifiche di funzionamento certe. Per un robot la cui produttività dipende dalla ripetizione veloce di cicli di operazioni in ambienti stabili questo è un inconveniente insormontabile, specialmente se intervengono ragioni di sicurezza. In future applicazioni in cui questi vincoli siano rilasciati o invertiti come, per esempio, in un robot mobile in ambienti parzialmente ignoti in cui non il fattore velocità, ma la capacità di incontrare ostacoli sconosciuti è decisiva, lo stato dell'arte sulla visione artificiale si dimostrerà notevolmente maturo (Figura 5).



Un ultimo cenno va ai materiali. In quanto "corpo", contano almeno quanto la "mente", anche se molti ricercatori tendono a sottovalutarli. Molti dei miglioramenti dei robot attuali citati nel paragrafo "IT e Robotica Industriale", rispetto alle origini, deriva dal progresso nei materiali: struttura, meccanica, attuatori. Questi ultimi, ora sempre più basati su motori *brushless* con magneti ceramici ad altissima forza coercitiva, hanno migliorato la densità di potenza e le caratteristiche dinamiche determinando prestazioni e precisioni più elevate. Il miglioramento degli attuatori ha avuto, probabilmente, l'influsso più importante. Nuovi materiali hanno fornito sensori stabili e sicuri, in particolare quelli di contatto e di forza. Ma anche in questo campo ci sono risultati scientifici disponibili a tramutarsi in tecnologie solo per i nuovi settori di applicazione: sensori di contatto capaci di fornire "immagini tattili", materiali strutturali non metallici, per citare due risultati maturi, e, in futuro, biomateriali e nanomateriali che potrebbero alla fine far passare la tecnologia dei motori dall'attuale ferro-rame a una chimica (muscoli artificiali), con nuovi migliori rapporti potenza/peso.

Infine, è da dire che il robot è comunemente visto come "un calcolatore con sensori e motori": tutta l'evoluzione della tecnologia del *Personal Computer* (PC) si ribalta gratuitamente su di lui, dalle LAN (*Local Area Network*) *wireless* alla grafica, dal VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) ai PC *disless*, dalla comunicazione attraverso ap-

FIGURA 5

Frogbot per esplorazione di pianeti, comete e asteroidi. Pesa 1,3 kg, ha un solo motore e una molla, ed è in grado di muoversi a balzi

plet Java alla rivista settimanale con gadget in edicola, e così via. E questo è parte di un piacevole circolo virtuoso appena iniziato.

11. L'ALTRA ROBOTICA

In più punti di questo articolo si è rimandato il lettore alle nuove applicazioni, ai nuovi mercati. Per parlarne è possibile basarci su un documento simile all'importante studio JIRA del 1980 citato in precedenza. Quello studio riguardava l'industria robotica giapponese e le sue prospettive; questo, a ventuno anni di distanza, e con gli stessi scopi, si rivolge all'industria robotica europea (*World 2001 Robotics* [6]), prodotto dalla Commissione Economica per l'Europa delle nazioni Unite (UNECE) e dalla IFR (*International Federation of Robotics*). Si tratta di un'autorevole pubblicazione periodica, di cui è disponibile anche l'edizione 2002 [7]. Si ritiene più esemplificativa la prima: pubblicata poco prima del tragico 11 settembre, presenta una più serena (e ottimistica) previsione degli sviluppi futuri, con un'analisi estesa dei nuovi mercati che non viene ripetuta ogni anno. Si citeranno poi i correttivi che sono da apportare a quei dati.

FIGURA 6
Nursebot "Flo": progetto di robot assistente personale per anziani della Carnegie-Mellon University, Pittsburg, USA

Il dato più significativo è in qualche modo la definizione "ufficiale" di un nuovo mercato per la Robotica: la Robotica di Servizio (*Service Robotics*). Per questo nuovo tipo di robot viene proposta una definizione molto diversa da quella classica ISO: "Un robot che opera in modo autonomo o semi-autonomo per compiere servizi utili al benessere (*well*

being) di esseri umani (Figura 6) o di apparecchiature, con l'esclusione di operazioni di manifattura".

Vengono anche classificate una serie di attività che ricordano l'avveniristico elenco del JIRA riportato più sopra. È interessante analizzare le differenze fra i due elenchi: quello del 1980, in realtà, riguarda in gran parte attività lavorative industriali in sostituzione di mano d'opera – industria agroalimentare, miniere, costruzioni eccetera. Le prospettive dello studio IFR-UN/ECE sono molto più concentrate su impieghi "civili", in cui un robot interagisce con gli umani pur sostituendo compiti umani. Si tratta di una differenza non tecnologica, ma sociale ed economica. Non vi è dubbio che le stesse tecnologie, o tecnologie molto simili, potrebbero adattarsi ai campi d'applicazione diversi. È verosimile che questa differenza di prospettiva sia dovuta alle mutate disponibilità di forza lavoro, già citate in precedenza.

Fra le circa 35 categorie citate, alcune mostrano un notevole incremento previsionale di installazioni in Europa nei quattro anni successivi allo studio. Se ne citano alcune: robot per pulizia professionale (da 440 a 14.150); robot per chirurgia (da 1.600 a 4.800); di piccolo trasporto in edifici (da 60 a 140) (Figura 7); per rifornimento di carburante (da 50 a 1.100); in agricoltura e allevamenti (da 1.100 a 2.300); per sorveglianza e sicurezza (da 60 a 1.800); per pulizia domestica o tagliaerba (da 12.500 a 425.000); per compagnia e divertimento (da 100.000 a 200.000). Alcuni, come la sorveglianza e il rifornimento di carburante, prevedono un aumento percentuale notevole (200 - 300%). Sorprendentemente, applicazioni popolari in laboratori di ricerca non sono premiate da questo studio (robot nei musei: da cinque a 10; robot mobili per impieghi generali da 260 a 230; robot da laboratorio da 1.000 a 320; robot per trasporto di disabili: da 260 a 230). Le ragioni dipendono da accurati studi di mercato e devono far riflettere.

Anche i settori degli "ambienti estremi", come spazio e mare (*underwater Robotics*) (Figura 8 e 9) apparentemente non sono premiati dallo studio, nonostante l'interesse scientifico, la presenza di investimenti consi-



**FIGURA 7**

Robot mobile di servizio staffetta per trasporto in ospedali (DIST e Genova Robot)

stenti da parte delle Agenzie Spaziali e di applicazioni marine già eccellenti. In realtà, questo tipo di applicazioni, destinate per ora a poche importanti applicazioni, sfugge a studi di mercato basati sui numeri; la loro rilevanza però va considerata.

È davvero sconcertante il non trovare esplicitamente in questi studi applicazioni di sminamento umanitario (*de-mining*). Si spera che siano nascosti nelle voci *other type* (anche se si nutrono forti dubbi al riguardo), ma è da considerare che – non per colpa della Robotica, ma della diabolica semplicità con cui le mine anti-uomo sono costruite – questo resta, purtroppo, ancora un tema di ricerca.

Non v'è dubbio che l'apertura di questi mercati segnerà un cambiamento generazionale in Robotica. Ed è da notare che questi nuovi mercati si affiancheranno, senza interferire, alla Robotica Industriale. Verranno finalmente utilizzate tecnologie mature prodotte dai vari settori dell'IA, della visione artificiale, da quelle dei materiali, con una an-

**FIGURA 8**

Robot mobile Sojourner basato su ruote che ha partecipato all'esplorazione di Marte (NASA)

**FIGURA 9**

Robotica subacquea: manipolazione mediante bracci in grado di operare ad elevate profondità; esplorazione dei fondali (DIST – Ansaldo – Movita)

cora più profonda integrazione con le tecnologie IT e, in particolare, con quelle civili (*wireless*, Internet).

12. SMART HOUSING

Fra le tecnologie che sono state denominate “civili” e di cui ci si attende l’integrazione con i robot di servizio, un posto speciale spetta a quelle cosiddette di “automazione di edificio”, chiamata anche degli “edifici” o “case intelligenti” (*smart housing*). Le case intelligenti hanno un’infrastruttura di comunicazione a cui sono interfacciati i normali dispositivi di un’abitazione: luci, porte, finestre, condizionamento ambientale, elettrodomestici, dispositivi per disabili o anziani, apparecchi di comunicazione e così via. Gli scopi possono essere quello di realizzare alloggi protetti o semplicemente case automatizzate per migliorare la qualità della vita. In un prossimo futuro, elettrodomestici e cibi dialogheranno grazie a un’elettronica integrata per migliorare l’approvvigionamento domestico e automatizzare la preparazione. Ma l’automazione degli edifici è già comunemente diffusa, con compiti più tecnici, in grossi complessi edilizi in cui ascensori, impianti di allarme, aria, luci, servizi vari sono collegati via rete a sistemi informatici di controllo. Le tecnologie già diffuse e disponibili sono quelle di particolari bus di campo (*fieldbus*), o reti locali per automazione, simili a quelli usati in automazione di fabbrica, ma specializzati in questo tipo di applicazioni. In diversi centri di ricerca si studia l’integrazione di questa tecnologia disponibile con i robot di servizio. È chiaro, infatti, che se un robot agisce in un ambiente civile (un edificio commerciale, una casa d’abitazione), esso deve interagire con una quantità di installazioni e dispositivi – porte, ascensori, dispositivi di emergenza o allarme – e deve comunicare con qualche posto di controllo remoto. In più, per ragioni di sicurezza o sorveglianza, deve poter conoscere o influire sulle politiche con cui l’infrastruttura intelligente dell’edificio affronta un determinato problema – per esempio, un incendio. È innovativo in questo caso pensare al robot non come un’entità totalmente autonoma, ma come parte di un sistema distribuito intelligente (la rete di automazione dell’edificio) di cui fa parte e con cui è in comunicazione continua o periodica. Questo vale anche per i livelli meno complessi e co-

stosi, come un aspirapolvere robotizzato in una smart house. Si ritiene ragionevole che questo approccio, studiato in Europa da diversi centri di ricerca in Robotica, e che ben si sposa con recenti tecnologie software ad agenti e per sistemi embedded, possa godere di fortuna e acceleri l’ampliamento del mercato di una parte significativa dei robot di servizio.

13. DOPO IL 2001

Il *report* IFR–UN/ECE del 2002 [7] non corregge in negativo gli scenari del 2001 (Figura 10), anche se gli obiettivi verranno spostati in avanti dalla crisi dei mercati internazionali. In particolare, viene notato che, a fronte di una diminuzione degli investimenti media del -3% mondiale in Robotica, di cui il 17% negli USA, l’Europa ha visto, invece, un record positivo di +2.5% (con punte di oltre il 25% in UK e Spagna). Dal punto di vista delle vendite, i mercati industriali USA e Giappone hanno avuto una forte flessione mentre l’Europa ha continuato a crescere, seppure di una piccola percentuale. Le previsioni a quattro-cinque anni sono ora diminuite in modo non rilevante, almeno per l’Europa.

Per quanto riguarda la Robotica di Servizio, ci sono solo poche variazioni significative nella previsione del 2005 (un anno dopo quella dello studio precedente): una diminuzione della pulizia industriale, un notevole aumento dei robot chirurgici, una ulteriore diminuzione del trasporto disabili, e una vera e propria esplosione dei robot da compagnia e divertimento (da 200.000 a 1.200.000, si veda a tal proposito il grafico in Figura 11).

Un’attenzione particolare spetta proprio a questi ultimi, di cui AIBO della Sony è stato il primo esemplare a larga diffusione. È curioso pensare a questo settore come quello che ha sostituito in Giappone, alla fine degli anni ’90, i settori previsti dal rapporto del 1980; e questa volta con lo sguardo ai mercati internazionali e a Internet, che ne ha decretato il successo. Parafrasando le parole del suo vicepresidente, Toshidata Doy, la Sony afferma che dal 1990 al 2000 il *personal computer* e Internet hanno dominato i mercati; dal 2000 al 2010 questo compito sarà svolto dai robot autonomi personali. Vero o no, l’inatteso ani-

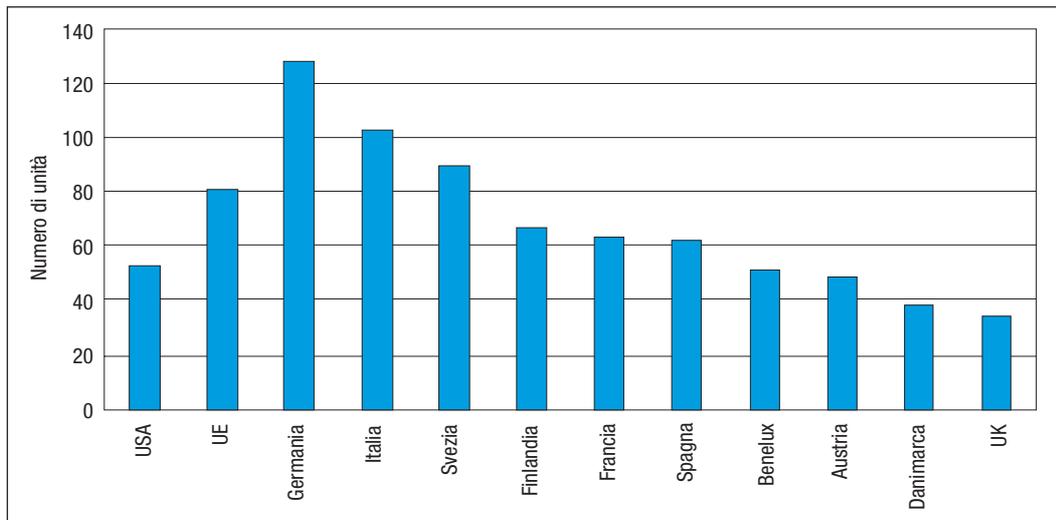


FIGURA 10
 Numero di robot per ogni 10.000 lavoratori impiegati nell'industria manifatturiera nel 2001: (Fonte: World Robotics 2002)

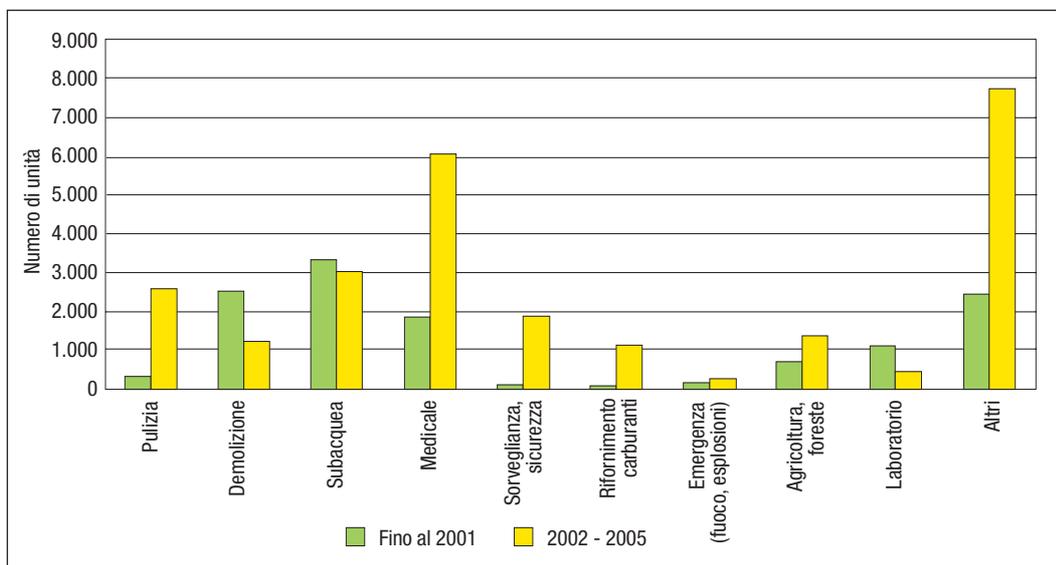


FIGURA 11
 Mercato europeo della Robotica di Servizio: installazioni al 2001 e previsioni 2002-2005: (Fonte: World Robotics 2002)

maletto con 18 gradi di libertà e con una semplice simulazione di vita affettiva ha avuto un successo straordinario. Lo scenario futuro dei robot "gioiosamente inutili" come questo è previsto roseo. L'invecchiamento della popolazione, la vita solitaria, la diffusione della moda tecnologica grazie a Internet sembrano forti elementi a favore. È possibile che questo tipo di Robotica, con il suo obiettivo di simulare la vita, giochi un ruolo di sfida simile a quello dell'IA classica nei confronti della Robotica Industriale. Un comportamento simil-vivo è, necessariamente, un comportamento complesso e parzialmente imprevedibile, quale può emergere solo da una struttura teorica e tecnologica complessa, molto più complessa di quella pre-

programmata attuale. Che una simile complessità serva a impieghi ripetitivi ancorché autonomi (come verificare che nessun intruso sia in un edificio o raccogliere le mele) è dubbio; alcuni ricercatori sostengono sia indispensabile per comunicare *emozioni* e studiano modelli mutuati dalle neuroscienze o ispirati a una teoria della *consciousness* artificiale. L'interesse teoretico è formidabile, perché re-imposta lo studio dell'*artificial brain* e dell'*artificial mind*. Personalmente, chi scrive non sarebbe sorpreso se obiettivi *visionary* di questo genere di ricerca in Robotica fossero supportati da fiorenti mercati di animaletti artificiali per compagnia (anche se spera che i bambini umani non trascurino per loro i cani e i gatti biologici).

14. ESISTE UN DIGITAL DIVIDE IN ROBOTICA

È forse opportuno terminare questo (sicuramente lacunoso) discorso attraverso la Robotica con un allarme. Il *digital divide*, il gap culturale tipico dell'ICT [Mondo Digitale, n. 2 giugno 2002], esiste già in Robotica, e potrebbe allargarsi con la nascita della Robotica di Servizio. Le motivazioni sono quelle generali, aggravate dalle competenze "di nicchia" dell'industria robotica, che la formazione istituzionale nazionale (secondaria, universitaria) potrebbe non fornire agli stessi ritmi della crescita del mercato (il solo mercato interno della Robotica Industriale classica è, da anni, il secondo in Europa, e le previsioni a cinque anni confermano questa posizione). Questo vale, in particolare, per le attività di R&S che in Italia dovrebbero essere particolarmente significative. Occorre tenere presente che, rispetto ad altri settori tecnologici, la Robotica richiede da 1 a 2 volte l'aggiornamento professionale degli addetti. Inoltre, il cambiamento del ruolo del robot in fabbrica verso un nuovo modello integrato B2B richiede l'incrocio di competenze IT finora diverse. Infine, la tradizione delle PMI *hi-tech* italiane richiede nuovi modelli di scambio e aggregazione, diversi da quelle in cui, in distretti industriali tradizionali, esse operavano tradizionalmente nell'indotto di una grande impresa di riferimento. Come è noto, la competitività riferita alla presenza nelle imprese di *highly skilled people* è molto bassa in Italia, se paragonata ad altri Paesi europei. Questo fatto, unito alla necessità "endemica" di riqualificare lavoratori usciti da posizioni *low-tech*, porrà seri problemi all'Italia se non saranno potenziati i meccanismi per colmare il digital divide anche in questo settore. Le soluzioni sono note: formazione permanente (con l'intervento mirato delle Regioni), raccordo fra Università e mondo del lavoro e sostegno a Distretti Tecnologi-

ci "virtuali" in cui aziende ed Enti fanno sistema per migliorare innanzi tutto l'aggiornamento del loro capitale umano. Da pochi mesi, in Liguria, una ventina di PMI (fra cui alcune *spin-off* universitarie) si sono associate con la Camera di Commercio, l'Associazione Industriali, l'Università di Genova, il Parco Scientifico e Tecnologico della Liguria, e l'associazione DIXET (che raggruppa a sua volta più di 100 PMI nel settore elettronico) dando vita all'Associazione Polo della Robotica (www.polorobotica.it). Questa associazione si pone come obiettivo di far crescere, dal tessuto industriale ligure a tradizione di medie e grandi imprese, un'attività verso la Robotica a tutto campo e ad alto contenuto di ricerca e innovazione. Si tratta della prima esperienza italiana di questo tipo, ed è una sfida che chi scrive e i suoi colleghi sono stati pronti a raccogliere – per ingannare il tempo *aspettando robot*.

Bibliografia

- [1] Gini G, Caglioti V: *Robotica*. Bologna, Zanichelli, 2003.
- [2] Losano G: *Storie di automi*. Torino, Einaudi, 1990.
- [3] Jacobelli J, (a cura di): *Aspettando Robot. Il futuro prossimo dell'Intelligenza Artificiale*. Bari, Laterza, 1987.
- [4] Russel S, Norvig P: *Intelligenza artificiale. Un approccio moderno*. Torino, UTET, 1998.
- [5] Tagliascio V: *Dizionario degli esseri umani fantastici ed artificiali*. Mondadori, 1999.
- [6] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE): *World Robotics 2001 – Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment*. Ginevra, UNECE, 2001.
- [7] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE): *World Robotics 2002 – Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment*. Ginevra, UNECE, 2002.

RENATO ZACCARIA Professore Straordinario presso l'Università di Genova. Insegna Robotica e Sistemi Operativi nella Facoltà di Ingegneria, e Informatica presso Facoltà umanistiche. Dirige un laboratorio di ricerca in Robotica. Si occupa di Robotica, Intelligenza Artificiale e Domotica in scenari di servizio, entertainment, sorveglianza e sicurezza.
renato.zaccaria@unige.it