MASTER IN COMUNICAZIONE DELLA SCIENZA

SISSA, TRIESTE

ET VOILÀ, I ROBOT

Tesi di:

Annunziata P. Bonifati

Relatore:

Giuseppe O. Longo

19 Febbraio 2009

Indice

Introduzione 3
Capitolo 1 Immaginifici scenari del futuro 12
Capitolo 2 Et voilà i robot! 19
1. Negli ultimi trent'anni un grande sviluppo, in tre fasi 19
2. Pronostici per il futuro: il "personal robot" 22
3. Il robot che sa apprendere 25
4. Accettare i robot 30
5. Bravi davvero! 33
6. Il ciborg è qui? 34
7. Curare col robot 36
8. Troppa immaginazione fa male 38
Capitolo 3 L'etica al tempo dei robot 42
Conversando con Giuseppe O. Longo 51
Capitolo 4 Loro, tra di noi 66
1. Rifare l'umano: perché? 67
2. Ci vuole una regola 68
3. Roboetica: utopia o scommessa? 69
4. Il dottore è teleguidato 71
5. BioRobotica umanitaria 71
6. Nati per uccidere 72
7. Noi ciborg, siamo esseri umani 75
Capitolo 5 Comunicare con l'umanoide fa bene 80
Conclusioni 89
Appendice 1 *Ciao robot*, un caso concreto di comunicazione della robotica 93
Appendice 2 Galleria fotografica 102
Bibliografia 109

Introduzione

I robot sono tra noi. E sono destinati a restarci. Sono utilizzati in medicina, nell'industria, nei servizi alle persone e per la ricognizione di zone pericolose o inaccessibili, come il pianeta Marte, dove *Spirit* e *Oppurtunity* esplorano il terreno guidati dalla stazione Nasa di Pasadena. Si presentano con corpi di vario aspetto e di varia natura. Alcuni sono antropomorfi, come *Cb2*[1] e *RobotCub*[2], gli umanoidi bambini progettati per studiare i processi di sviluppo infantile; o la bella *Face*, disegnata da artisti, ideata all'Università di Pisa per essere impiegata nella psicoterapia dei bambini autistici. Spesso hanno l'aspetto di macchine comuni: elettrodomestici, accessori, bracci meccanici, mattonelle[3] e veicoli di ogni natura (ci sono anche barche a vela robot![4]). Il loro uso è davvero promettente in medicina, nella protezione civile e nel soccorso. Ma d'altra parte il loro impiego è massiccio in campo militare. Negli Stati Uniti il 95 per cento della ricerca robotica è indirizzato a queste applicazioni, con investimenti altissimi (oltre 1000 miliardi di dollari per un aereo) e obiettivi ambigui (costruire macchine da guerra per battere il nemico nel minor tempo possibile e progettare armi "buone" da impiegare nelle azioni di pace). E poi ci sono i ciborg, esseri umani ibridati con apparecchiature bioniche, a potenziarne le capacità. Il ciborg-soldato, per esempio, indossa uno zaino collegato al sistema nervoso periferico e non ne percepisce il peso qualsiasi cosa contenga. L'uomo bionico è anche chi abbia uno o più microchip impiantati nel corpo[5]. Studiati oggi in medicina (per esempio, per regolare la somministrazione di farmaci nell'organismo), i microchip sono

---

[1] Cb2, progettato nel 2007 all'Università di Osaka, è alto 130 centimetri, pesa 33 chili e la sua età corrisponde alla "nascita" a quella di un bambino di 18 mesi. Grazie a un sistema visivo, uditivo e tattile, sa acquisire nel tempo i dati dalle esperienze compiute nell'ambiente circostante, come un bambino. Cb2 è stato progettato per "crescere" fino all'età di 3 anni.

[2] RobotCub (www.RobotCub.org) presentato nel 2008, nasce da un progetto europeo guidato da Giulio Sandini del Dipartimento di Informatica, Sistemistica e Telematica dell'Università di Genova. Obiettivo: studiare l'apprendimento infantile fino al terzo anno di età.

[3] Le mattonelle robot (*robotic tiles*) interagiscono con chi le calpesta o le tocca, per esempio illuminandosi. Sviluppate con le reti neurali, in buona sostanza correggono e registrano l'azione di chi le usa. Sono studiate e utilizzate in Danimarca, soprattutto nella terapia riabilitativa e nel gioco per bambini, da Henrik Hautop Lund, del *Maersk Institute for Production Technology*.

[4] La barca a vela *microtransat* è stata progettata in Francia dall'*Ensica*, (*Ecole nationale supérieure d'ingénieurs de constructions aéronautiques)* e partecipa a regate di robot.

[5] Il primo a farsi impiantare un chip nel corpo è stato nel 1998 lo scienziato inglese Kevin Warwick (www.kevinwarwick.com). Con l'impianto è riuscito a trasferire a un computer i dati contenuti nel microchip. Nel 2002 ha continuato l'esperimento con il microelettrodo *array*, grazie ai quale ha guidato una sedia a rotelle e ha trasferito dati alla moglie, collegata in "rete" con lui.

già in uso in veterinaria per l'identificazione di alcuni animali domestici e possono essere impiantati con lo stesso scopo anche nell'uomo[6]. Un domani potrebbero sostituire il passaporto, le carte sanitarie e di credito, e, perché no, telecomandi e telefoni.

Oggi i robot sono onnipresenti e alcuni esperti prevedono che entro vent'anni saranno nelle case di tutti, al posto di badanti, domestici, elettrodomestici, computer, telefonini, strumenti musicali, apparecchiature sportive e ludiche. Le previsioni dicono che i robot si prenderanno cura di noi, ci terranno compagnia, ci aiuteranno in tutto. E c'è chi è addirittura convinto che sostituiranno con successo mogli, mariti e amanti[7].

Nessuno però sa dire con certezza se e quando ci faremo servire da un robot maggiordomo o andremo a lezione dal robot professore. Né è possibile prevedere se e come l'interazione tra esseri umani e robot modificherà il vivere sociale e le capacità sensitive e cognitive di ognuno, robot compresi. Come del resto non si può dire nulla di certo sul tipo di evoluzione cui andranno incontro i robot stessi. Con una certa approssimazione sappiamo soltanto che i paesi ricchi progettano e costruiscono robot autonomi per impieghi che vanno oltre quello industriale classico; che i robot hanno prevalentemente un corpo antropomorfo o zoomorfo in Oriente, ma non in Occidente, dove però si comincia a introdurre nel mercato d'*élite* robot antropomorfi molto realistici[8]. Sappiamo anche quanto sia promettente l'uso dei robot nel soccorso, nella ricognizione di zone inaccessibili e in guerra, a fronte di una diffusione al momento ostacolata da costi altissimi[9], che dipendono dalla tecnologia impiegata, ma anche dal numero enorme di dati che queste macchine devono poter immagazzinare per funzionare bene. Conosciamo anche l'intrinseca pericolosità dei robot quando assumano dimensioni, forme e capacità di movimento tali da poter accidentalmente colpire una persona; il loro impiego in ambienti frequentati dal

---

[6] Si veda di Giuseppe O. Longo, l'articolo "*Una pulce sottopelle: libertà e sicurezza*", pubblicato su *Kos*, Rivista di medicina, cultura e scienze umane, n. 238, luglio 2005, pagg. 34-39. Nell'articolo si parla delle implicazioni morali di *Verichip*, il microchip contenente i dati sanitari, personali e identificativi, oggi usato dalle persone con malattie gravi per scongiurare un approccio terapeutico sbagliato in caso di improvviso ricovero ospedaliero in stato di incoscienza.

[7] È la tesi sostenuta dal ricercatore inglese David Levy esposta in forma divulgativa nel divertente volume "*Sex Love + Sex with Robots*", *The Evolution of Human-Robot Relationships*", HarperCollins, 2007.

[8] È il caso per esempio della *Hanson* R*obotics* (www.hansonrobotics.com) di David Hanson. L'azienda progetta, produce e vende robot dall'aspetto umano, molto realistici, in grado di conversare e in qualche caso di camminare. Alla *Hanson Robotics* si rivolgono anche gli istituti di ricerca e le università che hanno necessità di produrre robot umanoidi realistici, ma che non dispongono della tecnologia per produrli.

[9] I robot *Spirit* e *Opportunity* che perlustrano il pianeta Marte sono oramai vecchi e andrebbero sostituiti. Ma la Nasa, che finanzia il progetto, non ritiene favorevole sotto il profilo del rapporto costi/benefici la costruzione di altri robot. Pertanto è probabile che quando i due robottini si spegneranno il progetto sarà "congelato", in attesa della costruzione di altre macchine idonee al quel tipo di perlustrazione (fonte: comunicazione personale con Paolo Bellutta, lo scienziato italiano che guida *Spirit* e *Opportunity* dalla stazione Nasa di Pasadena) .

pubblico quindi è rischioso se non si rispettano alcuni protocolli di comportamento non facili da far seguire a tutti, per esempio ai bambini e agli animali domestici. Infine è piuttosto evidente che oggi molti prototipi dalle caratteristiche straordinarie sono usati esclusivamente per la ricerca scientifica (come nel caso di *RobotCub* e *Cb2),* e che i risultati attesi arriveranno chissà quando, se mai arriveranno.

Poiché gran parte della progettazione e delle conseguenze generali della robotica diffusa ha ancora caratteristiche di scenario non è facile distinguere le ipotesi, sia pur realistiche, dai fatti concreti della realtà. Tuttavia anche se il futuro è imprevedibile e pieno di sorprese, un punto fermo c'è: i robot sono costruzioni umane, frutto al contempo dell'immaginazione[10] e della ricerca scientifica. Quindi il futuro di cui si parla in buona parte è tracciato, giorno per giorno, dai ricercatori e dai loro finanziatori, nel tentativo di realizzare idee e sogni. Sotto questo profilo la realtà dei robot è una sorta di "prassi"[11], cioè una messa a frutto delle visioni umane mediate con l'esperienza, con la storia e con la cultura. E chissà dunque che indagando oggi, quali sono le idee, i sogni e le speranze di chi queste macchine le progetta e le realizza non si riesca anche a capire qualcosa in più su quel futuro prossimo di convivenza con i robot, che in molti prospettano.

Da queste suggestioni è nata l'idea di una tesi sui robot, per il Master in comunicazione della scienza della Sissa di Trieste. L'idea era quella di effettuare un lavoro di ricerca che fosse al contempo un esercizio di comunicazione e un tentativo, forse ambizioso ma necessario, di mettere a fuoco la grande complessità della robotica, con un obiettivo importante: trovare una forma comunicativa semplice e rigorosa per presentare i robot al vasto pubblico. E subito si sono presentati i problemi: come evitare che la complessità della disciplina si riducesse alla banalizzazione o all'enfatizzazione dei temi centrali? Come tenere distinte la realtà della robotica dalle visioni fantasiose che la muovono, dando al contempo pari dignità sia all'una che alle altre? Per evitare gli esiti maldestri che l'improvvisazione spesso può comportare, abbiamo scelto di procedere nel lavoro utilizzando i ferri a noi familiari del mestiere giornalistico. Dalla cassetta degli attrezzi abbiamo allora tirato fuori gli strumenti per la ricerca delle fonti attendibili, per la raccolta delle informazioni, per l'analisi critica del materiale, per la scelta di uno stile da adottare, e così via. E così abbiamo raccolto le testimonianze degli esperti utilizzando l'intervista giornalistica, gli atti dei

[10] "Immaginazione è la facoltà di rappresentare un oggetto, anche senza la sua presenza, nell'intuizione", Immanuel Kant, ("*Critica della ragion pura"*, Laterza, Roma-Bari 2000, pp. 120-123). Per il filosofo tedesco l'immaginazione è la facoltà di determinare a priori la sensibilità. Per questa ragione è "produttiva" e creativa, nel senso che riesce a figurare un oggetto senza mai averlo conosciuto.

[11] Si veda il concetto di prassi in Antonio Gramsci, *Quaderni dal carcere*, Einaudi, Torino, 2007.

convegni, le pubblicazioni, i filmati prodotti dalle università e dai centri di ricerca. L'intervista giornalistica è utile per l'immediatezza della conversazione sui temi che interessano il vasto pubblico. Gli atti dei convegni, meglio delle pubblicazioni, servono per inquadrare sia il campo d'indagine della ricerca robotica sia le implicazioni (sociali, culturali, etiche, ecc.) che ne derivano. Infine i filmati, fonte preziosissima, restituiscono l'immagine immediata di che cosa sono i robot sotto il profilo dell'aspetto e delle prestazioni. Alla fine del lavoro di ricerca ci siamo trovati con una mole enorme di materiale, tutto molto interessante, ma da analizzare con cognizione di causa e da ridurre a dimensioni ragionevoli, con un filo conduttore comune. Come procedere in un impresa così difficile?

Dopo esserci rimboccati le maniche abbiamo fatto ordine, nella speranza che qualcosa di buono ne sarebbe scaturito. Come filo conduttore abbiamo scelto di presentare i robot e la robotica portando alla luce la realtà dei fatti, i presentimenti, le attese, le preoccupazioni e le possibili soluzioni per convivere con i robot, così come sono raccontate dai protagonisti della robotica. Abbiamo dunque scelto di parlare di robotica in una cornice sociale, filosofica ed etica, suddividendo il lavoro in cinque capitoli e due appendici.

Il primo capitolo ("Immaginifici scenari del futuro") fa scendere i robot dal mondo della fantasia a quello della realtà di tutti i giorni, fatta di problemi della ricerca scientifica, di interessi di mercato, di speranze di un futuro migliore e anche di sogni. L'obiettivo è quello di restituire un'immagine scientifica della robotica, che, a livello di immaginario collettivo, è troppo carica di tentazioni futuristiche esaltanti o di ossessioni tecnofobiche ingiustificate.

Il secondo capitolo ("*Et voila* i robot") presenta i robot, le fasi evolutive della robotica e gli aspetti critici della ricerca e delle future applicazioni a partire dal dialogo di due protagonisti d'eccezione: Bruno Siciliano (ingegnere robotico) e Guglielmo Tamburrini (filosofo della scienza). Abbiamo deciso di far presentare i robot a due esperti noti per la concretezza delle loro idee sia per restare sempre sul piano della realtà (evitando le visioni futuristiche troppo fuorvianti), sia perché una sintesi della bibliografia disponibile sarebbe stata comunque vastissima e non omogenea. Il terzo capitolo ("L'etica al tempo dei robot") è dedicato alle questione filosofiche ed etiche inerenti alla robotica, colloca i sentimenti ambivalenti di paura o di eccessivo amore per le macchine in un ambito umano e infine propone un'intervista a un pensatore del calibro di Giuseppe O. Longo (ingegnere, scrittore e saggista). L'intervista tocca temi che suggeriscono al lettore una visione critica ampia e lucida di che cosa significhi avere a che fare con i robot in una dimensione sia personale sia sociale. L'obiettivo in questo caso è fornire al lettore spunti di riflessione per costruirsi

un'idea consapevole e critica sull'"era dei robot", a cui, secondo le previsioni, stiamo andando incontro.

Il quarto capitolo ("Loro, tra di noi ") è la presentazione a più voci della prospettiva futura di una vita comune con i robot e della necessità, espressa da molti robotici, di coniugare scienza ed etica per favorire l'impiego umanitario dei robot. Anche in questo caso si intende suggerire spunti di riflessione a partire dalla prospettiva concreta di due campi d'applicazione della robotica: la medicina e la guerra. Il quinto capitolo ("Comunicare con l'umanoide fa bene") da una parte presenta un'applicazione della robotica nella terapia riabilitativa delle persone autistiche, dall'altra trasporta il lettore nel suggestivo racconto del bioingegnere Marcello Ferro sulla costruzione artigianale di *Face*, il robot dal volto di donna impiegato per la terapia dei bambini autistici. Obiettivo del capitolo: illustrare le difficoltà inerenti alla progettazione e alla costruzione di un robot umanoide nella visione personale di chi è impegnato sul campo.

Le conclusioni tentano in qualche modo di tirare le somme di questo lavoro, facendo emergere le difficoltà che accompagnano la comunicazione di una scienza così multidisciplinare come può essere la robotica. Infine il lavoro è arricchito da due appendici. La prima ("*Ciao robot*, un caso concreto di comunicazione della robotica") porta all'attenzione del lettore le difficoltà che hanno accompagnato la realizzazione del documentario *Ciao Robot* attraverso la testimonianza diretta del regista del film, Manuel Stefanolo. La seconda appendice è la galleria fotografica dei protagonisti di questo lavoro e costituisce un omaggio ai robot a ai loro progettisti.

Molte altre difficoltà, oltre a quelle esposte, hanno accompagnato questo lavoro. Prima tra tutte il fattore "tempo". In origine erano previste una serie di interviste ai protagonisti internazionali della robotica, tutti disponibili e gentili, ma al contempo tanto impegnati da rendere difficili se non impossibili gli incontri. D'altra parte si profilava la necessità di scrivere in fretta, all'ultimo minuto, in modo che emergesse l'attualità della ricerca (in tecnologia le notizie invecchiano in pochi mesi). Abbiamo quindi dovuto ridurre il numero delle interviste, così come il volume del lavoro. Le difficoltà più grandi da superare sono state la complessità e la quantità del materiale raccolto: in robotica alcuni dettagli tecnici (come per esempio le caratteristiche dei sensori e degli attuatori o il controllo in retroazione) sono importanti e vanno compresi con cognizioni di ingegneria robotica[12] e di filosofia, difficilmente acquisibili in poco tempo. Gli strumenti filosofici fortunatamente

[12] Le nozioni di base della robotica possono essere apprese leggendo il testo di Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo "*Robotica - Modellistica, pianificazione e controllo* (3ª ed.)", Milano, The McGraw-Hill Companies (Italia), 2008 (http://www.ateneonline.it/catlibro.asp?item_id=2317#autore).

non sono venuti a mancare, ma per capire la robotica è stato necessario studiare quel minino indispensabile per comprendere il linguaggio dei robotici.

Prima di passare alla trattazione del tema, vogliamo accennare alla complessità sociale che si prospetta in quella che gli esperti chiamano *l'era dei robot*.

Non c'è dubbio che gli scenari aperti dalla robotica, che appartenevano fino a ieri alla fantascienza, stiano entrando in fretta nel mondo della realtà. Ed è probabile che in un futuro non molto lontano convivremo con macchine non solo intelligenti, ma anche autonome. E allora, come riorganizzare la società nell'era dell'interazione uomo-robot? Che cosa dovranno apprendere i robot? Come renderli accettabili, sicuri e affidabili? Avranno doveri e diritti? Fino a che punto saranno liberi di prendere decisioni autonome? Chi sarà responsabile dei loro eventuali errori? E se cominciassero a sviluppare una qualche forma di sentimento o a disobbedire, sarà giusto distruggerli? Questi scenari pongono anche una questione inquietante che riguarda l'identità umana: fino a che livello d'ibridazione l'uomo bionico potrà essere considerato ancora un essere umano?

Visto che il futuro è dietro l'angolo, «proprio perché i robot sono le macchine più potenti che l'uomo abbia mai costruito, è importante che i robotici non chiudano gli occhi di fronte alla realtà di queste macchine: dobbiamo cominciare a interrogarci su quali problemi potranno sorgere (sapendo, molto umilmente, che non esistono soluzioni facili a questi problemi)», suggerisce Gianmarco Veruggio[13], ideatore del documentario *Ciao Robot*, di cui si parla in Appendice. Lo strumento d'indagine c'è: è una disciplina nuova e si chiama "roboetica". È nata in forma ufficiale nel gennaio 2004, durante il "Primo Simposio internazionale sulla roboetica"[14] organizzato a Sanremo (Italia) dalla *Scuola di Robotica*, ma di etica della robotica si discute da decenni. Uno dei primi a occuparsene fu Isaac Asimov, il quale in un racconto del 1942 propose di inserire nel cervello positronico dei robot le tre celebri "leggi della robotica"[15], che avrebbero dovuto evitare da parte loro ogni azione osti-

---

[13] Gianmarco Veruggio è ricercatore senior al Cnr - Istituto di Elettronica e di Ingegneria dell'Informazione e delle Telecomunicazioni e presidente della prestigiosa *Scuola di robotica* di Genova (www.scuoladirobotica.it). È tra i promotori mondiali della roboetica e ha ideato "*Ciao, robot*" (www.ciaorobot.org), il documentario che presenta i robot in una chiave etica (in uscita a febbraio del 2008).

[14] La roboetica ha anche un sito web ufficiale (www.roboethics.org), dove è possibile rintracciare tutti gli eventi internazionali passati e futuri in tema di etica della robotica. Il prossimo appuntamento è il 17 maggio 2009 a Kobe, in Giappone, in occasione di ICRA 2009, la conferenza mondiale di robotica e automazione che si svolge ogni anno in un paese diverso e che è organizzata dalla IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers):* http://www.icra2009.org.

[15] Le tre leggi della robotica: 1. Un robot non può recar danno a un essere umano né può permettere che, a causa di un suo mancato intervento, un essere umano riceva danno; 2. Un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non contravvengano alla Prima Legge; 3: Un robot deve proteggere la propria esistenza, purché la sua autodifesa non contrasti con la Prima o con la Seconda Legge. (Isaac Asimov, "*Runaround*", 1942).

le o pericolosa nei confronti degli esseri umani. Asimov partiva dal principio che bastasse programmare la non pericolosità delle macchine per proteggerci da eventuali azioni nocive, derivanti sia da ordini umani immorali o ambigui sia da decisioni delle macchine stesse. Fatte salve le tre leggi di Asimov, ancora oggi rispettate dai robotici, la discussione si è ora spostata su un piano di più ampio respiro, che riguarda nel concreto sia l'analisi delle ragioni per cui è lecito e importante progettare robot, sia lo studio delle situazioni ambientali in cui s'intende impiegare queste macchine. Il fulcro del dibattito è l'interazione uomo-robot (*human robot interaction*), che apre molte domande in ambito non solo scientifico e progettuale, ma anche economico, legale, epistemologico, etico, culturale e psicologico.

I modi d'interazione presi in considerazione dalla robotica sono sostanzialmente tre. La prima è di tipo cognitivo, cioè analizza come il robot apprende dall'essere umano. La seconda interazione è di tipo fisico e riguarda la sicurezza e l'affidabilità della macchina, con riferimento alla prima legge di Isaac Asimov ("Un robot non può recar danno a un essere umano né può permettere che, a causa di un suo mancato intervento, un essere umano riceva danno"). La terza interazione concerne l'ambiente e risponde alle domande sull'accettabilità dei robot in società (vogliamo i robot, come desideriamo che siano, quali saranno i nostri e i loro diritti, devono essere antropomorfi?). La roboetica si propone di rispondere in particolare alle questioni aperte dal terzo tipo d'interazione[16]. Di questi argomenti si discute nei convegni di robotica, nei festival della scienza, nelle università (e in qualche occasione anche nelle scuole[17]), con conferenze appassionate, workshop, dibattiti, ipotesi di lavoro, ricerche mirate, presentazioni di scenari inquietanti e bizzarri e documentari anche di buon livello tecnico e artistico.

Ciò che si nota con evidenza è che oggi il punto di vista degli addetti ai lavori riguardo a quanto sia lecito o non sia lecito fare con i robot non è più totalmente centrato sull'uomo. Se Asimov con le sue leggi aveva soltanto l'intenzione di impedire un eventuale agire pericoloso dei robot nei confronti della specie umana, la roboetica odierna considera la relazione uomo-macchina nella sua bidirezionalità, considerando quindi anche le azioni lesive che gli uomini potrebbero compiere contro le macchine[18]. Rispetto al passato è

[16] Si veda l'EURON (*European Robotic Research Network*) "*Roboethics Roadmap"*, 2007.

[17] La robotica educativa è presente nelle scuole elementari, medie e superiori europee con progetti miranti a facilitare l'avvicinamento di ragazze e ragazzi alla tecnologia e alle scienze fisiche e ingegneristiche. Prevede il confronto tra robotici, ingegneri, psicologi, educatori e insegnanti e in Italia tiene conto dei principi etici, come nel caso del progetto "Roberta", rivolto espressamente alle ragazze, che allo stato attuale del progetto, a differenza dei coetanei maschi, mostrano una certa propensione a voler ingentilire e umanizzare le macchine.

[18] Si veda l'articolo Giuseppe O. Longo, "L'etica al tempo dei robot" in *Mondo Digitale*, n. 1 marzo 2007.

un cambio di prospettiva importante, che in Oriente, dove si tende a costruire robot con aspetto umano o animale, ha riscontri anche nella realtà. In Corea del Sud, per esempio, in conformità a stime che prevedono una grande diffusione dell'industria robotica nel prossimo decennio, il ministero del commercio e dell'industria sta elaborando una carta dei diritti dei robot[19].

La roboetica comincia dunque a far parte integrante della robotica applicata. Nello "*Springer Handbook of Robotics*"[20] (2008), la più importante e ampia pubblicazione che illustri lo stato della ricerca, le questioni etiche pervadono trasversalmente parte dei contenuti del volume e un capitolo è dedicato espressamente al tema della roboetica. D'altra parte forse non potrebbe essere altrimenti in un settore della scienza che progetta macchine che dovrebbero sostituire gli umani in tante loro attività. E «la sfida di costruire un'entità intelligente e autonoma che abbia capacità di azione e intervento, simili – talvolta superiori – all'essere umano richiede di ripensare a questa nuova scienza, la robotica, da un punto di vista globale, in un processo che vede scienze fisiche e umane collaborare verso un comune obiettivo di conoscenza.»[21].

D'altronde la roboetica nasce dall'idea semplice e ragionevole che si debba vivere in sicurezza e in armonia con le macchine. Idea antica, che però è da sempre congiunta in Occidente alla preoccupazione che i marchingegni e le creature progettate per servire l'uomo possano essere usate per nuocergli, possano commettere errori fatali, sfuggire di mano e addirittura prendere il sopravvento sull'umanità. Il precedente più noto risale al mito del Golem ed è arrivato a noi attraverso creazioni dell'arte, della letteratura e del cinema. Ma se le forme dell'immaginario sono mutate sensibilmente nel corso del tempo, nei paesi occidentali la radice dell'inquietudine, in altre parole la preoccupazione circa le possibili conseguenze dell'autonomia delle macchine, resta inalterata.

In Oriente i robot umanoidi e animaloidi sono invece culturalmente accettati, e non destano preoccupazioni, proprio in virtù della familiarità evocata dalle loro forme. In parti-

---

[19] Cfr. "*Establishing a Korean Robot Ethics Charter*", (divisione robotica, Ministro del commercio, industria ed energia, Repubblica di Corea), in atti del convegno mondiale *Ubiquitous Robotics, IEEE,* Icra 2007 (www.icra07.org), in www.roboethics.org/icra07/contributions.html

[20] Bruno Siciliano e Oussama Khatib (cura di), "*Springer Handbook of Robotics*", Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008, 1650 pagine, 165 autori. Il capitolo dedicato alla roboetica ("*Roboethics: Social and Ethical Implications of Robotics*") è di Fiorella Operto e Gianmarco Veruggio.

[21] È quanto si legge nella locandina del simposio internazionale: *Robotics: a new science*, Accademia dei Lincei, 20 febbraio 2008.

colare in Giappone, dove si tende a umanizzare qualunque oggetto con cui si entra in relazione, è normale che i robot abbiano occhi, naso e bocca[22].

Detto questo vi lasciamo finalmente alla lettura di questo esercizio di comunicazione sui robot e alle visioni futuristiche inevitabilmente legate all'immagine di queste macchine così inquietanti e insieme meravigliose.

[22] Naho Kitano, "*Animism, Rinri, Modernization*; *the Base of Japanese Robotics*", atti del convegno mondiale *Ubiquitous Robotics, IEEE* Icra 2007, www.icra07.org (http://www.roboethics.org/icra07/contributions.html). Tuttavia c'è sempre un limite al livello di accettazione di una macchina antropomorfa anche in Giappone. Una somiglianza eccessiva potrebbe, infatti, creare turbamento, per l'impressione di essere davanti ad una creatura vivente, che invece è soltanto una macchina. Nel 1970 Masahiro Mori, giapponese esperto di robotica, elaborò l'ipotesi dell'*Uncanny valley* (la valle del perturbante) secondo la quale l'aspetto antropomorfo di un robot, che suscita di primo acchito simpatia, si evolve in sgomento perturbante man mano che la somiglianza umana si fa più evidente, per trasformarsi nuovamente in simpatia quando la somiglianza diventa assoluta.

Capitolo 1
Immaginifici scenari del futuro

Robots! Robots on Mars and in ocean, in hospitals and homes, in factory and in schools; robots fighting fires, making goods and products, saving time and lives …* (…) *The dream to create machine that are skilled and intelligent has been part of humanity form the beginning of time. This dream is now becoming part of our world's striking reality.

Oussama Khatib e Bruno Siciliano, *"Springer Handbook of Robotics"*

Secondo l'indagine sul mondo della robotica[23], condotta ogni anno dalla Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite (*Unece*) e dalla Federazione internazionale di robotica (*Ifr*), dal 2008 al 2011 ci saranno sempre più robot. In casa e in ufficio, in ambienti pericolosi, inaccessibili o noiosi, in fabbrica, in ospedale, sott'acqua e sottoterra, in cielo e in terra. Si stima che si passerà da 6,5 milioni di robot operativi nel 2007 a 18 milioni nel 2011. Un bel balzo che interesserà in modo massiccio il settore della difesa, della sicurezza e del soccorso. Lo sviluppo previsto interessa per ora soltanto i paesi "robotizzati". Quelli cioè che hanno il più alto numero di robot ogni diecimila persone impiegate nel settore manifatturiero. Sulla base dei calcoli, si legge nello studio, la nazione con la maggiore densità di robot al mondo è il Giappone (310 per 10mila lavoratori), seguito da Germania (234), Repubblica della Corea (185), Italia e Stati Uniti (116) e Svezia (115). Tutte le altre nazioni hanno meno di 100 robot per 10 mila lavoratori impiegati nel settore manifatturiero.

Altre previsioni più a lungo termine[24] stimano che entro vent'anni avremo robot al posto di fisioterapisti, piloti, chirurghi, maggiordomi, insegnanti, musicisti, badanti, soccorritori e quant'altro. E che gli impianti bionici, come lo sono per esempio le gambe dell'atleta sudafricano Oscar Pistorius, faranno recuperare le funzioni motorie ai mutilati,

[23] Il "*World Robotics* 2008" *Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment Statistics*, è in vendita sul sito web della Federazione internazionale di robotica: http://www.worldrobotics.org. Nell'indagine si stima che alla fine del 2011 ci saranno 17 milioni di robot di servizio (di cui 12,1 milioni destinati a uso personale) e 1, 2 milioni di robot industriali. Solo per la vendita di robot ad uso professionale lo studio prevede un fatturato di oltre 9 miliardi di dollari dal 2008 al 2011.

[24] Ci si riferisce alle stime della *Japan Robot Association* (http://www.jara.jp/e/).

ridare la vista ai ciechi, l'udito ai sordi e le capacità cognitive agli ammalati di Alzheimer. Ma sarà vero? E se sì, con che tipo di macchine andremo eventualmente a convivere?

Come si legge nello *Springer Handbook of Robotics*, «molti robotici, così come studiosi autorevoli di storia della scienza e della tecnologia, hanno già etichettato il 21esimo secolo come l'età dei robot. Effettivamente nel corso del nostro secolo le macchine autonome intelligenti sostituiranno gradualmente molte macchine automatiche.»[25]

Pronostici di questo tipo ci portano con l'immaginazione in territori del futuro come quelli commoventi dipinti nel film *L'uomo bicentenario*[26], dove il robot tuttofare Andrew da umanoide si trasforma via via in uomo, fino a essere riconosciuto tale nel suo ultimo giorno di vita, a duecento anni. Oppure, ci conducono nei tristi destini di androidi in carne ed ossa, tali e quali a noi, forti e intelligenti, ma schiavi, come nel film di culto *Blade Runner* [27].

Ma se oltre a immaginare vogliamo anche capire in quale direzione, in fatto di robot, ci sta portando lo sviluppo tecnologico e scientifico, dobbiamo recarci nei centri di ricerca e nei laboratori delle università, ovvero in quei luoghi che rievocano il teatro delle pulsioni creative del dottor Victor von Frankenstein [28]. Una volta entrati tutto si ridimensiona. Perché a vedere quella ferraglia inanimata ci si chiede se alle esposizioni e ai convegni internazionali di robotica vengano per caso esposti falsi d'autore o specchietti per le allodole. Siccome robot strabilianti da rivista patinata non se ne vedono, domandiamo agli addetti ai lavori dove sono. Ci dicono che i prototipi tanto appariscenti degli expo internazionali sono giapponesi, e che in Europa salvo qualche eccezione, si evita la forma antropomorfa anche se, ci assicurano, i robot sono fatti a nostra immagine e somiglianza pur non avendo la forma umana. Prendiamo atto e chiediamo allora se è vero che un giorno ci toccherà vivere accanto a queste macchine. Senza azzardare ipotesi fantasiose, ci dicono che forse è probabile, ma non sanno. Insistendo un po' con le domande, gli ingegneri ci parlano anche di

---

[25] Dal capitolo "*Roboethics: Social and Ethical implication of robots"*, scritto da Fiorella Operto e Gianmarco Veruggio. La traduzione è di chi scrive.

[26] "*L'uomo bicentenario*", prodotto in Usa, è stato diretto da Chris Columbus nel 1999. La trama del film si basa sul racconto "*L'uomo positronico*", scritto da Isaac Asimov e Robert Silverberg.

[27] "*Blade Runner*", prodotto in Usa, è stato diretto dal regista Ridley Scott nel 1982. La storia narra le gesta di un gruppo di androidi, più forti e più intelligenti degli uomini, che avendo paura di una morte imminente (programmata da chi li ha costruiti) si ribellano al "creatore", chiedendo più vita. La trama del film è liberamente ispirata al romanzo dello scrittore americano Philip K. Dick, "*Do Androids Dream of Electric Sheep*?" (1968), in italiano: "Ma gli androidi sognano pecore elettriche?" Fanucci, Roma, 2000.

[28] Ci si riferisce al celebre romanzo "*Frankenstein, o il Prometeo moderno*", scritto da Mary Shelley tra il 1818 e il 1919 e modificato successivamente. Nel racconto si evocano in spirito romantico i dolori patiti dal dottor Victor von Frankenstein per aver assecondato la sua smania di dare vita a un corpo umano inanimato da lui stesso assemblato con parti ricavate da cadaveri di alcuni uomini.

un possibile futuro di sistemi bionici e robotici, che va oltre l'immaginazione, ma probabilmente non è dietro l'angolo, come potremmo credere. E sì. Perché tutto questo lavorare sui robot del futuro, dicono gli esperti, è fatto di tanti ingredienti, laboriose operazioni e infinite difficoltà da superare. Scopriamo subito che la robotica è una scienza multidisciplinare, che racchiude in sé al contempo la lentezza dei tempi della ricerca tecnologica, scientifica e umanistica. Veniamo a sapere di giochi di prestigio per ottenere i finanziamenti necessari per avviare i progetti. Delle difficoltà tecniche da superare per costruire i prototipi. Delle implicazioni etiche e legali da prendere in seria considerazione già nel corso della progettazione e del collaudo. Della necessità di misurare il grado di accettabilità di queste macchine da parte sia della comunità scientifica, sia del vasto pubblico. Del processo di industrializzazione, che fa di un prototipo un oggetto in vendita, e infine della commercializzazione con gli annessi lanci pubblicitari (ammesso che il mercato gradisca il prodotto finale).

Dopo tanta concretezza, chi ama fantasticare continui pure a farlo, sapendo però che l'attesa è lunga e il domani è alquanto imprevedibile. D'altronde, fino a qualche decennio fa chi poteva immaginare che in una scatolina maneggevole e a buon mercato si potessero racchiudere, tutte insieme, le funzioni di telefono, televisore, registratore, telecamera, macchina fotografica, mappa stradale e computer, tanto per citare soltanto le più comuni funzioni del cellulare? Questo marchingegno, che oggi rappresenta la tecnologia elettronica più avanzata nel settore, è arrivato tra le nostre mani senza clamore, quasi in punta di piedi. Neppure nel film *E.T. l'extra-terrestre* di Steven Spielberg (1982) il telefono aveva funzioni così futuribili, eppure rappresentava l'unico strumento con cui il piccolo alieno sperduto sulla Terra poteva comunicare con la sua casa nello spazio.

Sembra incredibile, ma capire bene in che direzione di sviluppo tecnologico e scientifico stiamo andando è difficile anche per ingegneri, robotici, scienziati e filosofi che si occupano di robot. Primo, perché anche loro sono dotati di grande capacità immaginativa e spesso esagerano nei pronostici anche a favore del proprio settore di ricerca. Basti pensare alle stravaganti idee del ricercatore inglese David Levy[29] sulla possibilità di sposare un lui o una lei robot. Secondo, perché le previsioni realistiche, quelle basate sui fatti, hanno molti limiti, non potendo tenere conto più di tanto dell'incertezza che sempre si accompagna con il domani.

---

[29] David Levy, "*Sex Love + Sex with Robots , The Evolution of Human-Robot Relationships*" op. cit.

Ma non c'è niente da fare, quando si parla di robot, ai pronostici sia pur realistici si aggiungono sempre le visioni affascinanti, inverosimili e inquietanti dell'immaginario collettivo. E la fantasia si scatena davanti a un qualsiasi prototipo umanoide anche stupido, ma capace di muoversi come un essere umano. E non c'è bisogno di andare nella fantascienza, tempio per eccellenza delle idee visionarie, per restare di stucco. Basta leggere qualche articolo di giornale, anche prestigioso, come il quotidiano francese *Le Monde*[30], o guardare un servizio alla televisione, per farsi un'idea di come vengono portate all'opinione pubblica queste macchine meravigliose, progettate per sostituire o potenziare le funzioni umane. Non che si riportino inesattezze, ma si calca la mano più sul fenomeno in sé, un po' da baraccone, che sulla ricerca scientifica e tecnologica e le sue ricadute effettive. E così emerge che un robot falco[31] in volo nei cieli degli aeroporti sia in grado di scongiurare il grave pericolo degli stormi di uccelli che si impigliano pericolosamente negli aerei. O che l'occhio bionico[32] possa restituire la vista ai ciechi[33]. Sembra che i giornalisti, come gli scrittori e i registri, non resistano alla tentazione di colorare la realtà, di sottolineare gli aspetti appariscenti.

A guardar bene, i robot degni di una camera delle meraviglie sono soltanto la punta dell'iceberg delle scienze robotiche. Spesso rappresentano prove tecniche di alta tecnologia per applicazioni future. È il caso, per esempio, della squadra di robot calciatori che Daniele

---

[30] «*Soldat sous haute surveillance*» di Michel Alberganti, quotidiano francese *le Monde*, domenica 20 aprile 2008. Riferendosi ai nuovi sistemi di combattimento statunitensi (i cosiddetti *Future combat systems*, basati su sistemi robotici e bionici di cui si parla nel capitolo quattro) il giornalista lascia intendere che presto le menti dei soldati americani potrebbero essere comandate a distanza dai loro superiori. La notizia di per sé non è falsa e l'articolo, interessante, è ben documentato. Molto azzardata è invece l'ipotesi che sia possibile leggere nelle menti umane.

[31] L'astore meccanico realizzato dall'azienda spagnola *Bird Raptor Interational* è un sistema radiocomandato studiato per spaventare i pericolosi stormi di uccelli in prossimità degli aeroporti. Il sistema, che si dimostra oggi più funzionale di tanti altri, ha fatto parlare di sé perché nell'estate del 2008 è stato sperimentato con successo nell'aeroporto di Fiumicino. Tuttavia non basta un aeromobile spaventapasseri a risolvere il problema.

[32] Ci si riferisce ad *Argus II Retinal Stimulation System*, l'ultimo modello della protesi retinica *Argus II* messa a punto in California dalla società *Second Sight ® Medical Products, Inc*, con l'obiettivo di ridare parzialmente la vista alle persone affette da retinopatia pigmentosa, una malattia ereditaria che può portare alla cecità. Il nuovo dispositivo è stato impiantato in aprile 2008 su due pazienti affetti dalla malattia al *Moorfields Eye Hospital* di Londra. Per ora si tratta soltanto di sperimentazione che apre anche problemi etici. Non è detto, infatti, che i pazienti accettino alla lunga un tipo di visione così parziale e innaturale, senza andare incontro a problemi anche psicologici. Inoltre, qualora in futuro con l'evoluzione dell'impianto si riuscisse davvero a ridare la vista ai ciechi, chi si accollerebbe i costi della spesa sanitaria? Sarebbe giusto restituire la vista soltanto ai ricchi?

[33] È singolare l'ottimismo con cui il 22 aprile 2008 è stata accolta la funzionalità del dispositivo *Argus II* sul quotidiano italiano *la Repubblica* «La nuova speranza dei non vedenti. Con l'occhio bionico torna la vista» di Enrico Franceschini. Nell'articolo si dà per scontata l'idea che entro tre anni si potrebbe ridare la vista ai ciechi. Sulla stessa onda, anche se meno ottimista, è il quotidiano inglese *The Times*, che lo stesso giorno esce con l'articolo «*Surgeons give hope to blind with successful 'bionic eye' operations*» (http://www.timesonline.co.uk/tol/life_and_style/health/article3790683.ece). Più cauto è invece il quotidiano nazionale *Corriere della sera*, in «Gb: 'occhio bionico' per due persone», si sottolinea il carattere sperimentale dell'intervento.

Nardi[34] vorrebbe un giorno far gareggiare con i campioni veri, quelli in carne ed ossa. L'obiettivo del progetto è nobile, anche se velato dall'immagine calcistica: creare una squadra di robot da soccorso, in grado di reagire a comportamenti umani inattesi tipici delle situazioni di pericolo. Talvolta, invece, dietro alcuni robot sorprendenti c'è l'intenzione da parte dei produttori di dimostrare al mondo la propria bravura, gli alti livelli di tecnologia raggiunti. È il caso di *QRio*[35] il robot bambino curioso che la Sony ha messo a punto partendo dal celebre cagnolino *Aibo*[36]. *QRio*, dopo un grande lancio pubblicitario che ha ottenuto un immediato riscontro mediatico è uscito di scena, nel 2006, malgrado il grande investimento economico che la sua progettazione di altissimo livello tecnologico ha comportato.

In realtà senza andare a cercare il futuro nella sfera magica di esperti e meno esperti, i sistemi robotici e bionici pervadono già molti settori della ricerca e stanno entrando in modo trasversale ovunque ci sia tecnologia, nello spazio come nei cieli, nel profondo dei mari come nel cuore delle città e nei nostri stessi corpi. A dire il vero, non sono i prototipi straordinari presentati nelle esposizioni internazionali a dare l'occasione agli esperti di fare pronostici sulla diffusione dei robot nel futuro prossimo, ma quelli che passano talmente inosservati tanto da non essere neppure riconosciuti come robot. Anche se poco affascinanti sono robot gli aerei *UAV*[37], che perlustrano i cieli dei territori inaccessibili o pericolosi. Sono robot quei semafori intelligenti che regolano l'ingresso delle auto provenienti dalle grosse arterie stradali nelle città statunitensi soffocate dal traffico. Ed è un robot anche *Robogat*[38], il pompiere che fa da sentinella dall'alto della volta del traforo del monte Bianco,

---

[34] Daniele Nardi è professore di Intelligenza Artificiale al Dipartimento di informatica e statistica (Dis) della Facoltà di Ingegneria dell'Università la Sapienza di Roma. Si occupa principalmente di robotica per il soccorso e di sistemi intelligenti per la difesa civile. Dal 1998 è impegnato nell'*Azzurra Robot Team* (http://www.dis.uniroma1.it/~ART), la nazionale italiana di calciatori robot che si fronteggia in competizioni scientifiche internazionali organizzate dalla federazione *RoboCup* (http://www.robocup.org/). Al progetto lavorano 6 gruppi di ricerca e il *Consorzio Padova Ricerche*, che ha anche realizzato il campo di gioco per i robot.

[35] *QRio* (acronimo di *Quest for cuRIOsity*) è un umanoide che nasce nei laboratori della Sony nel 2004 come evoluzione del celebre cagnolino *Aibo*. Come *Aibo*, ha esordito alla competizione internazionale di robot calciatori *RoboCup* tenutasi a Lisbona, in Portogallo, nel 2004. Alto 60 cm, 7,3 chili di peso, *Qrio* sa conversare, ricordare, riconoscere le voci e le persone ed esprimere in alcune occasioni il suo parere. Nel 2006 la Sony ha interrotto senza ragione apparente il progetto sospendendo anche la pagina web a lui dedicata. Sul sito web *YouTube* è ancora disponibile la suggestiva presentazione video che ne fece la Sony per lanciarlo (http://www.youtube.com/watch?v=33a33XEVHKE).

[36] Per chi non lo conoscesse *Aibo* è il celebre cagnolino robot messo in produzione dalla Sony nel 1999 e ritirato dal commercio nel 2006.

[37] UAV sta per *Unmanned Air Vehicle*, velivoli senza pilota, dotati di sistemi di registrazione di immagini e di rilevamento di dati. Nati dalla ricerca militare, ne esistono di varia dimensione e tipo, adibiti a compiti multifunzionali o a compiti specifici di spionaggio e supervisione.

correndo in senso longitudinale e senza mai arrestarsi per tutto il percorso del traforo, pronto a spegnere gli incendi. Nessuno nota questi anonimi macchinari. Eppure a detta degli esperti ci somigliano, e sanno agire autonomamente al posto nostro, talvolta meglio di noi!

D'altronde, c'è poco da fare, se i robot devono sostituire o estendere le funzioni umane è ovvio che siano progettati a nostra immagine e somiglianza. Non importa che siano antropomorfi, l'importante è che si comportino come noi. Per esempio, che imparino dall'esperienza. Non a caso la ricerca robotica sta andando in questa direzione: costruire robot con corpi versatili, facilmente usabili, che apprendano e agiscano come noi.

Davanti alla prospettiva concreta di robot divenuti "invisibili" le stanze delle meraviglie stracolme di umanoidi superdotati che dirigono l'orchestra, danzano o intrattengono una conversazione, come quelli presentati all'*Expo* di Aichi nel 2005, sembrano fuori tempo e anche un po' di cattivo gusto. E ci sarebbe da saltare dalla sedia chiedendosi se davvero nei laboratori di ricerca si progetti un nuovo e più insidioso mostro di Frankenstein. Se non fosse che alla tecnologia "invisibile" (quella che c'è, ma non si nota) ci siamo tutto sommati già abituati, con i pc e i telefonini. E i tecnofobici possono anche tranquillizzarsi, perché, fatte le dovute eccezioni nel settore bellico, questi robot in fondo ci aiutano semplicemente, senza neppure infastidirci con una presenza ingombrante.

Ma sorge un dubbio. Se il futuro prossimo ci prospetta sistemi robotici o bionici inavvertibili, che fine faranno i robot dei nostri sogni? Che ne faremo di un futuro che potrebbe nascondere l'immagine dell'umanoide tutto fare, del ciborg inquietante e dell'androide bello come il sole, finanche in un pacchetto di caramelle? La robotica ci ruba i sogni? Forse sì. Però ci dà anche la splendida opportunità di fantasticare ancor di più sulle diverse relazioni che potremmo intrattenere con i robot quando occuperanno il nostro stesso ambiente. Perché, visto che già ci sono, antropomorfi o no, dobbiamo imparare a convivere con loro. Stiamo parlando di sistemi capaci di prendere decisioni autonome, che possono già svolgere al posto nostro molte attività, come aiutare un bambino ad allenarsi a calcio[39] o imparare passi di danza come sa fare con molta grazia *HRP*[40], o pulire la casa

---

[38] Il tragico incendio divampato nel 1999 nel traforo del Monte Bianco ha dato l'occasione all'Italia di progettare un robot in grado di pattugliare il tunnel giorno e notte e spegnere eventuali incendi. È nato così *Robogat*, progettato a Napoli da Domenico Patti e collaudato per la prima volta nel 2007. Sarà impiegato per spegnere incendi in gallerie, fabbriche e ovunque i vigili del fuoco non possano arrivare.

[39] È il caso delle robot mattonelle del danese Henrik Hautop Lund, del *Maersk Institute for Production Technology,* Per approfondimenti si può andare alla pagina web del *Center for Playware* della stessa università*:* http://www.sdu.dk/Om_SDU/Institutter_centre/Playware.aspx?sc_lang=en. Le mattonelle sono impiegate principalmente nella tera-

quando siamo al lavoro come fa *Roomba*[41]. E non è uno scherzo delegare a una macchina intelligente e autonoma una nostra attività. Perché in caso di errore sarebbe un bel problema stabilire di chi è la responsabilità, ma di questo argomento parleremo nei prossimi capitoli.

---

pia riabilitativa. Chi voglia saperne di più senza entrare nei dettagli tecnici può leggere l'articolo divulgativo uscito su WIRED «*Robotic Therapy Tiles: Playing Your Way to Health» nel 2007 (http://www.wired.com/medtech/health/news/2007/10/therapy_tiles).*

[40] *HRP* è un umanoide che sa danzare il *Bandaisan*, il ballo tradizionale giapponese. È talmente bravo e aggraziato nei movimenti che è difficile credere che si tratti di un robot. *HRP* è stato progettato all'Università di Tokio dal robotico Shin'ichiro Nakaoka ed è uscito nel 2007 della industrie della *Japan's Kawada*. (http://www.kawada.co.jp/global/ams/hrp_2.html.). Chi voglia approfondire più sfogliare le pagine del *Journal of Robotics Research*, vol 26, a pagina 829.

[41] *Roomba* è un piccolo elettrodomestico a forma di cilindro piatto che aspira e lava i pavimenti in modo autonomo dopo essere stato programmato nel suo orario di lavoro. Grazie a specifici sensori riconosce gli ostacoli e li evita. È in vendita dal 2002 al prezzo di circa 200 Euro e ne esistono vari modelli.

Capitolo 2
Et voilà i robot!

Che cosa sono i robot, oggi? E quali saranno quelli di domani? A rispondere alla domande è un esperto di prim'ordine: Bruno Siciliano, presidente della società mondiale di robotica la IEEE (*Institute of electrical and electronics engineers*) *Robotics and Automation Society*, e professore alla facoltà di Ingegneria dell'Università Federico II di Napoli. Lo abbiamo incontrato al "Prisma Lab", il laboratorio da lui diretto all'università, da cui parte il coordinamento di alcuni importanti progetti di robotica finanziati dalla comunità europea. Nel compito impegnativo di disegnare presente e futuro di queste macchine Bruno Siciliano non è solo. Accanto a lui c'è il filosofo della scienza Guglielmo Tamburrini, che studia le questioni epistemologiche ed etiche aperte dai sistemi robotici e bionici ed è anche lui professore alla Federico II di Napoli, presso la facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. Per i robotici, già abituati a lavorare in ambiente multidisciplinare, è naturale avere al proprio fianco i filosofi. E infatti, come ci tiene a dire Siciliano: «*È stato lavorando con Guglielmo Tamburrini che mi sono accorto che in robotica finanche un dettaglio tecnico, come i parametri della legge di controllo di una macchina, si presta a un'attenta analisi umanistica. Non è sorprendente?*» Ed ecco come i nostri esperti presentano i robot di oggi e di domani.

1. Negli ultimi trent'anni un grande sviluppo, in tre fasi

UNA PASSIONE CHE VIENE DA LONTANO

SICILIANO - Dal primo automa di Al-Jazari nel 1206, al cavaliere meccanico di Leonardo da Vinci nel 1500, alle bambole giapponesi nell'800 e alla comparsa nel 1920 della parola "robot" in *R.U.R.*, l'opera letteraria di Karel Čapek, la robotica è sempre esistita in forma latente nel sogno umano di replicare se stesso. Fino a quando, nel 2005 all'esposizione in-

ternazionale di Aichi[42], in Giappone, sono stati presentati al mondo alcuni robot in grado di svolgere molte funzioni umane. Oltre al "sogno", c'è però sempre stato il "bisogno" di costruire macchine utili che ci aiutassero, sostituendoci in molte nostre funzioni. Naturalmente, nel corso del tempo e per molte ragioni anche storiche[43], la necessità di delegare alle macchine alcune attività tipicamente umane si è fatta sempre più incalzante, fino a caratterizzare tutto lo sviluppo della robotica[44] degli ultimi trent'anni.

PRIMA FASE: LA ROBOTICA INDUSTRIALE

SICILIANO – Dal 1975 al 1985 la robotica si è affermata come tecnologia matura in campo industriale. In principio i robot erano macchinari stupidi che venivano utilizzati in maniera massiccia nelle fabbriche. Agivano sotto il controllo umano, senza alcun livello di autonomia. Questo genere di robot si chiama automa. Tutt'ora impiegato in fabbrica, è programmato per fare una serie di azioni ripetitive e prestabilite, non reagisce alle caratteristiche mutevoli dell'ambiente e non è in grado di prendere decisioni.

TAMBURRINI – È importante sottolineare che il robot industriale si muove in un ambiente in cui tutto è noto e vincolato, in ogni aspetto. Non c'è alcun tipo di interazione, che non sia di tipo prefissato, tra macchina e operatore e tra macchina e ambiente.

SECONDA FASE: LA ROBOTICA DA CAMPO

SICILIANO – Successivamente si è pensato di far uscire i robot dalle fabbriche e di portarli con funzioni più evolute in ambienti di altro tipo, come quello militare, biomedico o del soccorso. E così dal 1985 al 1995 comincia a svilupparsi la robotica da campo (*field robotics*), che prevede l'uso di robot in luoghi aperti e poco strutturati, e non più in spazi interni e interamente controllati come quelli della fabbrica. I risultati migliori del decennio di studi e ricerche arrivano nel 2005. Quando un veicolo senza personale a bordo completa per la prima volta e con successo un percorso di gara di 132 miglia. È accaduto negli Stati Uniti,

[42] All'expo internazionale sono stati presentati robot di ogni tipo. Sedie a rotelle, pattumiere, lavapavimenti, baby sitter, poliziotti, aerei, fisioterapisti e prototipi umanoidi incredibilmente verosimili. Per approfondire si può visitare il sito web dell'esposizione: http://www.expo2005.or.jp/en/robot/index.html.

[43] Si veda di Vittorio Marchis, "*Storia delle macchine, tre millenni di cultura tecnologica*", Laterza, Bari 2005 (400 pagine).

[44] Chi voglia farsi un'idea dei livelli di sviluppo raggiunti oggi dalla robotica può consultare il volume già citato "*Springer Handbook of Robotics*".

al *Grand Challenge 2005*[45] organizzato dalla *Darpa*, l'agenzia della difesa statunitense che si occupa dei progetti di ricerca avanzati. Il veicolo in gara aveva con sé soltanto la mappa del circuito e per affrontare la competizione ha dovuto prendere decisioni in modo del tutto autonomo, senza guida umana.

TAMBURRINI – La finalità di questo progetto era di tipo militare. Ma d'altronde quasi tutta la ricerca robotica negli Stati Uniti ha come obiettivo prioritario l'applicazione nel settore militare e bellico[46], ricevendo ingenti finanziamenti anche dal Congresso. Mentre in Europa, ciò non accade nella maniera più assoluta.

SICILIANO – È vero che la ricerca robotica negli Stati Uniti è indirizzata nella quasi totalità a scopi bellici, ma poi le applicazioni vanno ben oltre. Sotto questo punto di vista dobbiamo molto alla robotica militare. Gli aerei di perlustrazione senza pilota *UAV* nascono per la guerra, ma oggi sono utilizzati per il pattugliamento delle acque (per l'inquinamento) o della foresta amazzonica (per il disboscamento) e in tante altre occasioni in cui si renda necessario sorvolare territori poco accessibili. C'è sempre quindi un doppio uso. Ma tornando alla robotica da campo, oltre ad essersi affermata come tecnologia di punta con i robot mobili della *Darpa*, ha riscosso eccellenti successi anche nelle applicazioni spaziali. Nel 1997 per la prima volta venne mandato un robot a perlustrare il suolo del pianeta Marte. Si chiamava *Sojourner*. Dal 2004 al suo posto ci sono *Spirit* e *Opportunity*, controllati a distanza dalla stazione *Nasa* di Pasadena, in Usa.

TERZA FASE: LA ROBOTICA DI SERVIZIO

SICILIANO – Dal 1995 al 2005 la robotica industriale e la robotica da campo continuano a svilupparsi negli anni. Tuttavia comincia ad affermarsi anche un altro tipo di robotica, quella di servizio, il cui obiettivo è l'utilità in senso lato. Sono di servizio i robot per la pulizia della casa, come il celebre *Roomba*, i robot chirurgo, come il *Da Vinci*[47] usato per la chirurgia minimamente invasiva, i robot per la riabilitazione (come *Manus*, usato per i pa-

[45] La competizione *Grand Challenge* 2005 si è svolta il 10 settembre nel deserto *Mojave*, nel Nevada, in un circuito di circa 130 miglia (210 chilometri circa) A gareggiare sono stati diversi veicoli senza pilota, dei quali solo cinque hanno completato il percorso. Ha vinto *Stanley*, messo a punto dall'università di Stanford, in California. Per i curiosi c'è il sito web da visitare: http://www.darpa.mil/grandchallenge05/gcorg/index.html.

[46] Secondo fonti della difesa americana la ricerca robotica militare occupa il 95 per cento della ricerca complessiva del settore.

[47] Dei robot *Da Vinci*, *Manus* e *Paro* si parla nelle pagine successive di questo capitolo.

zienti colpiti da ictus) e i robot per la psicoterapia, come la foca *Paro*. Sono di servizio anche i robot infermiere, badante, baby sitter, e così via.

2. Pronostici per il futuro: il "personal robot"

C'È MA NON SI NOTA

SICILIANO – È impossibile prevedere cosa diventerà domani la robotica. A mio avviso si svilupperà al confine con tante altre aree disciplinari. Il vero progresso tecnologico della robotica potrebbe quindi avere luogo in campo biomedico e nella riabilitazione, nel soccorso, nel settore aerospaziale, e via dicendo, dove ci sarà una grande richiesta di sistemi con funzioni robotiche. Mettiamo la gestione del traffico aereo o del traffico automobilistico. Un sistema robotico migliora certamente l'utilizzo dei corridoi e degli spazi aerei, come del flusso delle automobili. Nelle autostrade americane già ci sono le rampe di accesso con semafori selettivi, sincronizzati, che regolano il flusso di immissione degli autoveicoli in autostrada: serve per evitare ingorghi. Sotto questo profilo un motto della nostra comunità scientifica è *smart cars on smart roads* (veicoli intelligenti su strade intelligenti). In definitiva quello che sembrava un problema esclusivamente automobilistico e di gestione del traffico può essere risolto con un sistema robotico. Ed ecco che in futuro la robotica entrerà progressivamente in ogni ambito disciplinare.

ADDIO, AMATO ROBOT

SICILIANO – La scommessa, da qui a vent'anni, è che il robot si integri così bene nell'ambiente da non essere più notato. E affinché ciò avvenga il robot non deve assolutamente avere una forma umanoide. Altrimenti verrebbe percepito in maniera unica, particolare, come se fosse un essere umano, mentre invece si tratta soltanto di una macchina, sia pur molto particolare. Il robot classico, tanto caro all'immaginario collettivo, diventerà obsoleto e verrà sostituito dalle funzioni robotiche, che si affermeranno nei campi più disparati di applicazione. È per questa ragione che nell'ambiente scientifico sempre più persone vogliono occuparsi di robotica. La fisica dei sistemi robotici può essere applicata addirittura in campo genetico, per il sequenziamento del genoma. È quanto stanno già facendo in

Usa, all'Università dell'Arizona, sotto la guida di Dee-dee Meldrum[48]. D'altronde che la robotica stia tentando di capire come funzionino i sistemi biologici non è un caso. Il robot deve essere un clone dell'essere umano, noi robotici stiamo effettivamente cercando di produrre macchine autonome simili a un essere umano, ma per farlo bene dobbiamo capire come funzionano i meccanismi biologici.

SALVARE VITE UMANE

SICILIANO – I robot si sono mossi in un ambiente non controllato all'indomani dell'11 settembre 2001, a New York, tra le macerie del *World Trade Center*. All'epoca Robin Murphy[49] portò lì i suoi robotini mobili nel tentativo di trovare i resti di vittime o qualche cenno di vita. L'idea era quella di utilizzare le macchine in ambienti pericolosi per salvare vite umane nel minor tempo possibile e con un rischio minimo per i soccorritori. La scommessa è stata vinta[50], perché da allora i robot sono sempre più impiegati per il soccorso, per la bonifica di aree contaminare e anche per lo sminamento. In Afghanistan, per esempio, a cercare le mine scandagliando il terreno con un macchinario sono uomini che rischiano la vita, per una manciata di soldi. Adesso questo lavoro cominciano a farlo i robot dotati di una un'apparecchiatura sensoriale. L'uscita dei robot dalla fabbrica ha segnato anche la svolta multidisciplinare della robotica, che ha cominciato a chiamare molte altri saperi oltre a quelli inerenti l'ingegneria, e che ha portato i progettisti a doversi occupare di molte altre questioni, di tipo scientifico, medico e umanistico. Oggi, grazie alla robotica di servizio si sta affermando il concetto di "personal robot", che esordirà nel settore industriale.

---

[48] Deirdre R.(Dee-dee) Meldrum è preside della facoltà di Ingegneria all'*Arizona State University* in Usa, dove dirige il *Center for Ecogenomics* al *Biodesign Institute*. Le applicazioni dei sistemi robotici in campo medico sono tante e inaspettate, per approfondire si dia un'occhiata ai temi trattati alla Conferenza internazionale di robotica medica e biomeccatronica "*BioRob 2008*", presieduta da Meldrum: (http://www.ieee-biorob.org/assets/pdf/BioRob2008_min_size.pdf).

[49] Specializzata in robotica di soccorso Robin R. Murphy ha diretto in Florida l'*Institute for Safety Security Rescue Technology* (http://www.issrt.usf.edu/issrt.html) della *University of South Florida.* Attualmente è professore di scienze informatiche alla *Texas A&M University*. Dopo l'11 settembre ha continuato a portate i suoi robot adibiti al soccorso in molte situazioni disastrose accorse in seguito agli uragani Charley (2004), Katrina, Rita e Wilma, e nel 2007 alla colata di fango a La Conchita, in California, agli incidenti nelle miniere d'oro del Nevada e del Canyon in Utah e al crollo Jacksonville in Florida del parcheggio in Berkman Plaza.

[50] Secondo varie fonti, tra cui l'indagine già citata *World Robotics* (Unece-Ifr), fatta eccezione della difesa, il soccorso è il settore in cui la robotica più si è affermata e si sta sviluppando. Quest'area di specializzazione della ricerca robotica ha una dimensione internazionale che si confronta in convegni e seminari. Il più importante per dimensione, organizzato dalla Società mondiale di robotica dell'IEEE (*Institute of electrical and electronics engineers*) è l'*International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics* che si svolge ogni anno in una località differente. L'ultimo si è tenuto dal 21 al 24 ottobre 2008 in Giappone, a Sendai, al *Tohoku University Aobayama Campus*.

CHE COS'È UN "PERSONAL ROBOT"?

TAMBURRINI – Non azzarderei una definizione precisa, che mi sembra prematura. Meglio dire genericamente che si tratta di robot destinati all'assistenza personale e all'aiuto degli esseri umani. A Toulouse, in Francia, stanno tentando, per esempio, di realizzare il robot maggiordomo[51]. Naturalmente, far muovere un robot in una casa significa anche farlo interagire in un ambiente molto variabile, dove possono accadere eventi poco prevedibili, come il passaggio di un bambino. Tutto ciò comporta molti problemi. Devo dire che da questo punto di vista sia l'intelligenza artificiale, sia la capacità decisionale e reattiva del robot vanno ancora molto sviluppate, prima che si possano portare in un ambiente domestico. Soprattutto vanno garantite buone condizioni di sicurezza nell'interazione tra robot e ambiente e tra robot ed esseri umani. Molti progetti europei, come per esempio *Phriends*[52], vanno in questa direzione.

SICILIANO – Nella robotica di servizio il punto critico è proprio l'interazione uomo-robot, che dovrebbe avvenire nel modo più naturale e disinvolto possibile. Come è già accaduto con il personal computer, talmente integrato come tecnologia che lo si trova in qualsiasi ambiente domestico senza neppure notarlo. È talmente integrato con l'ambiente che è, come dire, sparito.

IN CASA E UFFICIO? NON ANCORA

TAMBURRINI – Non possiamo dire oggi che genere di sistemi robotici potrebbero entrare nelle case, se mai vi entreranno. Uno scenario possibile è rappresentato dall'evoluzione della domotica[53]. Immaginiamo per esempio di essere al lavoro, di avere la necessità di

---

[51] Ci si riferisce al progetto *Cogniron* finanziato dalla comunità europea nell'ambito dell'iniziativa "*Beyond Robotics*" prevista nel 6° programma quadro (2003-2006) e gestito dall'Università di Toulouse (Francia). Il progetto, molto ambizioso, prevede lo sviluppo di un robot maggiordomo, da impiegare nella vita domestica di tutti i giorni. L'obiettivo principale è quello di studiare le capacità percettive, di rappresentazione, di ragionamento e di apprendimento di un robot inserito in un ambiente domestico.

[52] Il progetto *Phriends*, (acronimo di *Physical Human-Robot Interaction Dependability and Safety)* finanziato dalla commissione europea rientra nel contesto del 6° programma quadro. È centrato principalmente sullo studio della sicurezza dei robot e prevede *crash test* dei robot sui manichini. Al progetto lavorano il centro *E. Piaggio* dell'Università di Pisa (coordinatore), l'*Istituto di Robotica e Meccatronica* dell'*Agenzia spaziale tedesca* (DLR) , l'azienda tedesca *KUKA Roboter GmbH*, il *Laboratorio di analisi e di architettura dei sistemi* (LAAS) del *Consiglio nazionale delle ricerche scientifiche* in Francia, il *Dipartimento d'informatica e sistemistica* dell'Università di Roma "La Sapienza" e il *Prisma Lab* dell'Università Federico II di Napoli. Per chi voglia approfondire c'è il sito web dove si possono anche scaricare i filmati con i test di sicurezza sui robot: http://www.phriends.eu/.

[53] La domotica ha come obiettivo il miglioramento "intelligente" della vivibilità, semplicità e sicurezza degli ambienti umani come la casa e l'ufficio. Si basa su programmi integrati di intelligenza artificiale e ultimamente si sta sviluppando in direzione dei sistemi robotici.

tornare a casa per cena e di dover uscire in fretta subito dopo. Per semplificarci la vita, mandiamo un messaggio al computer di casa, che controlla un braccetto robotico, mediante il quale apre il frigorifero e mette in forno una pietanza, pronta per l'uso al nostro arrivo a casa, come da programma.

SICILIANO – Sui futuri sistemi robotici da impiegare in casa si possono fare tante ipotesi. Ci potrebbe essere l'evoluzione dell'elettrodomestico intelligente, così come quella del computer. Quest'ultimo, essendo già dotato di un'intelligenza artificiale, potrebbe in effetti evolvere in robot grazie a una parte senso-motoria, come per l'appunto un braccio animato, oppure un mouse che restituisca un sensazione, per esempio tattile, che funga cioè da interfaccia aptica [54].

3. Il robot che sa apprendere

L'INTELLIGENZA HA UN CORPO

TAMBURRINI – Il robot, oltre ad un'intelligenza artificiale, ha sempre bisogno di un corpo animato. E oggi, anche grazie alla robotica**,** non si concepisce un cervello senza la sua parte senso-motoria, come accadeva nelle teorie dell'intelligenza artificiale di qualche anno fa. Naturalmente, gli orizzonti limitati dell'intelligenza artificiale ai suoi inizi sono stati determinati anche da uno sviluppo tecnologico e non solo teorico. Però è indubbio che l'idea di isolare le capacità cognitive dal senso-motorio, che ha mosso i pionieri dell'intelligenza artificiale, non ha funzionato. Dal fallimento, si è ritenuto utile tentare di capire come sono integrate le capacità cognitive con il senso-motorio. Oggi per esempio è difficile pensare di fare simulazioni cognitive prescindendo totalmente dall'impiego dei robot. D'altronde, in una visione evoluzionistica e di adattamento, se l'intelligenza deve servire a muoversi e a sopravvivere in un ambiente, deve al contempo poter percepire quello specifico ambiente e agire in quel contesto nei modi giusti. Un'intelligenza immersa in un ambiente non può quindi mai essere solo qualcosa di astratto, ma deve avere un corpo.

SICILIANO – Un'evoluzione analoga la si riscontra nell'ambito dei progetti europei. Nel 6° programma quadro (2001-2007) la robotica è stata finanziata nell'ambito delle FET (*Futu-*

[54] L'interfaccia aptica è un dispositivo interattivo che funziona da periferica, come il mouse del computer, ma che restituisce in risposta una sensazione tattile di forza. Queste interfacce sono utilizzate in contesti di realtà virtuale, come la simulazione di volo, e nei robot teleguidati, come i robot chirurgo (restituiscono l'impressione di una sensazione tattile dell'intervento). Un mouse aptico potrebbe vibrare o bloccarsi quando per esempio sto lavorando su un documento sbagliato senza accorgermene.

re and Emerging Technologies) perché era considerata un'applicazione avanzata dell'ingegneria, un qualcosa di confinato al puro ambito della ricerca quindi. C'erano progetti molto astratti di intelligenza artificiale, come modelli, completamente separati dalla realtà. In quest'ambito era stata avviata l'iniziativa *Beyond Robotics*[55] (Oltre la robotica), che comprendeva tre grossi progetti: *Cogniron*, il robot maggiordomo, guidato dall'Università di Toulouse; *Neurobotics*, della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa e I-*Swarm*, gli sciami di robot, capeggiato dall'Università di Karlsruhe. Nel 7° programma quadro (2007–2013) la robotica è stata invece accorpata, non a caso, all'area dei sistemi cognitivi. E in particolare nell'area *Cognitive Systems, Interaction, Robotics*[56], in cui oggi rientra anche il progetto *Dexmart*[57], sull'apprendimento dei robot per la manipolazione bimanuale.

VERSO IL TRASFERIMENTO TECNOLOGICO?

SICILIANO – È questo il punto, chi gestisce i fondi europei confida in una prospettiva di mercato. Tant'è che le stesse aziende che ora producono robot industriali realizzeranno anche i robot di servizio. E non a caso nel 2009 partirà un nuovo progetto europeo, il cui obiettivo è quello di favorire il trasferimento tecnologico tra gruppi di ricerca e aziende. Questo passaggio dalla robotica di pura ricerca a una robotica, per così dire, applicativa è anticipata dai pronostici. Uno studio

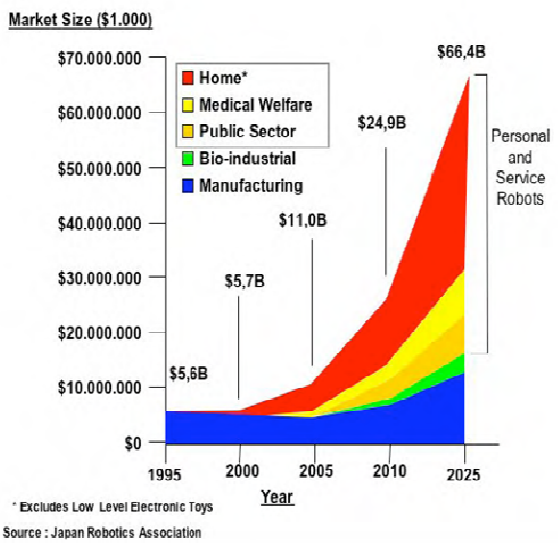


FIGURA 1: Proiezione sul mercato dei robot effettuata nel 2005 dall'Associazione giapponese di robotica

[55] Per approfondire si vada alla pagina web dell'iniziativa "*Beyond Robotics*": http://cordis.europa.eu/ist/fet/ro-sy1.htm/.

[56] Il progetto europeo rientra in uno dei sette temi chiave dell'area *Information and Communication Technologies* del 7° programma quadro europeo (http://cordis.europa.eu/fp7/ict/programme/home_en.html).

[57] *DEXMART* è l'acronimo di *DEXterous and autonomous dual-arm/hand robotic manipulation with sMART sensory-motor skills*: *A bridge from natural to artificial cognition*. È guidato dal *Prisma Lab* dell'Università Federico II di Napoli. L'obiettivo principale del progetto è quello di creare le condizioni tecnologiche della manipolazione bimanuale per rendere i robot di servizio usabili in ambienti non strutturati come quelli dell'ufficio e della casa. *Dexmart* ha anche un sito web da cui si può scaricare un filmato che presenta i robot e le tecnologie coinvolte nel progetto: http://www.dexmart.eu/.

del 2005 della *Japan Robot Association*[58] (*figura 1*) prevede una forte espansione dei robot di servizio nei prossimi vent'anni. Dal 2005 a oggi già si cominciano a vedere le prime applicazioni di robotica industriale avanzata etichettabili come robot di servizio.

UN UTENSILE MOLTO PARTICOLARE

SICILIANO – C'è un video interessante e ben fatto che rende perfettamente l'idea di quella che potrebbe essere l'evoluzione del robot di servizio in fabbrica e in officina. È stato realizzato da *SME Robot*[59], l'iniziativa robotica europea nata per rafforzare la competitività delle piccole e medie imprese nell'attività produttiva. Nel filmato due operai, stufi di faticare inutilmente, sapendo dell'esistenza dei robot di servizio, suggeriscono la prospettiva d'impiego di macchine versatili, multifunzionali, leggere e sicure, da usare al posto di strumenti e utensili. Si tratta di sistemi robotici, effettivamente allo studio e in fase di realizzazione, da usare in modo intuitivo, come un elettrodomestico, e che potrebbero presto essere impiegati in fabbrica, per segare, forare, levigare e molare senza fatica e in meno tempo.

PIÙ SICURO È MENO PRECISO

SICILIANO – La versatilità di questo genere di robot non deve però far pensare che li si possa presto impiegare in casa, per il fai da te, come trapano multifunzionale. La realizzazione dei robot di servizio comporta infatti ancora molti problemi, inerenti soprattutto alla sicurezza e al livello di precisione nell'azione. Va sottolineato infatti che a fare pericoloso un robot industriale è proprio la sua precisione. Se il braccio meccanico di un robot in azione si fermasse davanti ad un ostacolo imprevisto, come il passaggio di una persona, perderebbe la sua precisione d'azione programmata. E infatti in fabbrica nessuno si deve avvicinare al raggio d'azione di un robot. Per rendere sicuro un robot destinato a interagire con un essere umano devo dargli flessibilità e cedevolezza, in modo che si ritragga davanti a un ostacolo, grazie a un meccanismo anticollisione. Ma tutto ciò rende il robot meno preciso di quanto potrebbe essere. Ecco, in questo caso si preferisce optare per la sicurezza a svantaggio della precisione. Tuttavia è evidente che questo genere di robot possa essere impiegato in fabbrica o in officina, dove ci si muove in un ambiente comunque controllato.

[58] Nel sito web della *Japan Robot Association* (http://www.jara.jp/e/) si trovano i progetti di tutti i centri di ricerca giapponesi.

[59] Dal sito web di *SMERobot* (http://www.smerobot.org/) si può scaricare il filmato che illustra il passaggio dal robot industriale, rigido e pericoloso, al robot di servizio, usabile e versatile. Il mercato aperto dai robot di servizio è per il momento rappresentato prevalentemente da officine, cantieri e industrie.

Ci vorrà molto tempo prima che i robot di servizio di questo tipo entrino nelle case al posto degli utensili di largo uso.

TAMBURRINI – D'altronde in un ambiente domestico gli imprevisti sono all'ordine del giorno, anche solo per la presenza di bambini e di animali domestici. Lavorare con i robot in un ambiente ancora ben strutturato rappresenta tutto sommato una comoda fase di transizione nel corso della quale si può studiare e prevedere tutto quanto potrebbe accadere, molto di più che un ambiente domestico.

MANEGGEVOLI, VERSATILI, NON PROGRAMMATI

SICILIANO – I robot "utensili" riescono ad essere così flessibili perché apprendono direttamente dall'esperienza le informazioni che servono loro per agire. Non sono programmati. Se voglio assegnare un compito a un robot di questo genere non faccio altro che indicargli cosa deve fare, accompagnandolo per mano, come si farebbe con un bambino. Allora la macchina memorizza l'indicazione, l'acquisisce in maniera intelligente e non la dimentica più. Per esempio a un robot per la molatura gli metto davanti l'oggetto da molare e lui con una telecamera incorporata si rappresenta da solo la griglia dell'oggetto, l'acquisisce e in seguito lo riconosce, indipendentemente dalla posizione in cui gli si presenta. Il robot, che prima non sapeva nulla dell'oggetto, ora avrà appreso dall'osservazione.

SBAGLIARE È ROBOTICO ...

TAMBURRINI – Però, attenzione. C'è il rischio che il robot, per esempio, scambi il braccio dell'operaio per l'oggetto sul quale dovrà agire e lo ferisca. D'altronde l'apprendimento comporta di per sé un livello di incertezza, nella macchina come nell'essere umano. È il problema dell'induzione, studiato fin dall'antichità, che si ripresenta sotto le nuove spoglie del robot che apprende. Infatti, apprendere dall'esperienza vuol dire sostanzialmente estrapolare dalle esperienze fatte e poi generalizzare[60]. Bisogna stabilire una relazione di somiglianza tra quello che vedo ora e quanto potrò vedere in futuro. E per riuscire a fare ciò, è molto importante che ci sia una regolarità da scoprire nei fenomeni osservati, altrimenti tutto potrebbe essere posto in dubbio. Se il robot applica un ragionamento induttivo, allora potrebbe non riuscire a individuare le regolarità giuste nei fenomeni: la probabilità che sbagli il bersaglio e mi ferisca è dunque reale.

[60] Sui limiti del ragionamento induttivo nella formazione delle teorie scientifiche si veda di Rom Harré, "*An Introduction to the Logic the Science*" Macmillan, Londra , 1977.

... ROBOTICO È PERICOLOSO

TAMBURRINI – Il problema è che un robot che apprende diventa molto simile all'uomo, anche nella sua fallibilità. Tornando al ragionamento di tipo induttivo, come faccio a dire che domani il sole sorgerà? Perché l'ho visto tante volte e proietto sul futuro una regolarità descritta dalle leggi della fisica. Ma sappiamo anche che tante regolarità possono essere invece contingenti, nel qual caso sbaglierei nel considerarle come leggi. Dopo aver visto un gran numero di cigni solo ed esclusivamente bianchi potrei azzardare l'ipotesi che tutti i cigni sono bianchi. Ma se ne vedo alcuni neri, come accadde per la prima volta a un europeo in Australia in occasione del viaggio del capitano Cook nella seconda metà del '700[61], devo rivedere la generalizzazione sul colore dei cigni. La questione epistemologica in questo caso riguarda la consapevolezza che nell'induzione abbiamo possibilità di sbagliare. E se apprendere vuol dire provare a formulare leggi, partendo da un'esperienza passata e proiettandola sul futuro, apprendere vuol dire anche poter sbagliare. Questo meccanismo proiettivo, adottato nella scoperta scientifica e nella quotidianità di tutti noi, è molto simile a quello del robot che apprende.

... SERVE IL BUON ESEMPIO

TAMBURRINI – Poiché il rischio c'è, occorre scegliere gli esempi d'apprendimento da presentare al robot in modo che siano davvero rappresentativi rispetto al fenomeno. In modo da ridurre al minimo la possibilità di errore da parte del robot Di progressi in questa direzione se ne sono fatti tanti, ma ci sono ancora molte sfide da superare. Questo è un compito della ricerca, che va quindi sostenuta il più possibile, pur sapendo però che i risultati, come accade sempre nella scienza, potrebbero non essere affatto immediati.

L'AVEVA DETTO ANCHE IL PAPÀ DELLA CIBERNETICA!

TAMBURRINI – Questi problemi furono messi in luce con preveggenza dal fondatore della cibernetica, il matematico Norbert Wiener, quando l'ipotesi di dare ai robot la capacità di apprendere non era ancora stata esplorata in profondità. In *God and Golem* (1964) egli considera il da farsi qualora si volessero usare sistemi di apprendimento per applicazioni, per esempio, di tipo bellico. Si dovrebbe fornire ai sistemi una serie di esempi di strategie

[61] James Cook, "*Storia dei viaggi intrapresi per ordine di S.M. Britannica dal capitano Giacomo Cook: ricavata dalle autentiche relazioni del medesimo: con una introduzione generale contenente la notizia dei più celebri viaggi precedenti*". Torino, Ignazio Soffietti Stampatore e Francesco Prato Librajo, 1791

vittoriose. Tuttavia, si chiede Wiener, qualora sbagliassimo come insegnanti a scegliere i campioni da usare per l'apprendimento, i sistemi, pur apprendendo correttamente le strategie tanto da giungere alla vittoria, potrebbero tuttavia compiere azioni contrarie a valori etici a cui noi teniamo molto.

SICILIANO – Su questo problema ci si sta lavorando, perché un robot amico deve anche essere sicuro. Nell'ambito del progetto europeo *Phriends*, che valuta l'interazione uomo-robot, sono stati eseguiti i *crash test* per verificare la sicurezza dei robot. Si è valutato che un robot leggero[62], uccide un essere umano se lo colpisce alla velocità di due metri al secondo. Per ridurre l'indice di pericolosità dell'impatto frontale, il robot è stato dotato di un sistema di anticollisione che prevede la presenza di particolari sensori. Uno di questi, collocato al livello dei motori, gli fa percepire l'ambiente esterno. Un altro sensore, sistemato nella punta del braccio, gli fa sentire il contatto fisico. Il sistema di anticollisione dà al robot la capacità di calibrare il colpo non appena si accorge di essere troppo vicino ad un corpo. In buona sostanza, nel momento in cui il robot avverte a livello sensoriale un possibile contatto, parte un algoritmo di controllo veloce (con tempi di risposta dell'ordine di una frazione di millisecondo), che a sua volta attiva una forma repulsiva al livello dei motori. Questi, come risposta, attutiscono il colpo, non facendo affondare il braccio meccanico sul corpo umano. Nei robot dotati di due braccia, e che riescono a manipolare un oggetto con due mani, il sistema di anticollisione serve anche per evitare che gli arti si scontrino tra di loro.

4. Accettare i robot

È UTILE? CORRIAMO IL RISCHIO

TAMBURRINI – Anche prendendo tutte le precauzioni possibili, la sicurezza assoluta non ci sarà mai in un robot. La questione semmai riguarda l'accettabilità da parte nostra di queste nuove macchine. Una delle possibili risposte è di tipo utilitaristico. Si sceglie di adottare o meno una tecnologia, rischi compresi, sulla base di un'ampia analisi costi/benefici, comprensiva anche di tutti i valori che ci stanno a cuore. Anche quando sono state introdotte le

[62] Si tratta di robot leggeri e potenti, progettati presso l'*Istituto di Robotica e Meccatronica dell'Agenzia Spaziale Tedesca* (DLR). Hanno la forma di un braccio snodato e molto mobile e possono essere collocati su un piano di lavoro e sposati facilmente a mano. Il prototipo più all'avanguardia è stato presentato nel 2006 dalla società tedesca *KUKA Roboter*: pesa 14 chilogrammi, può manipolare un carico di 13 chilogrammi (stravolgendo così i valori tipici del rapporto peso carico/struttura di 1:10−1:20), è dotato di sensori di coppia ai giunto ed è in grado di apprendere.

navigazioni oceaniche con i velieri si sapeva di andare incontro a molti rischi. Tuttavia la società, spinta da interessi di varia natura, ha scelto di accettare il rischio, ed è andata ugualmente in quella direzione. A guardar bene è esattamente quanto accade oggi con tutte le tecnologie.

PURCHÉ NON SI CALPESTI LA DIGNITÀ UMANA

TAMBURRINI – E' più problematico limitarsi ad adottare analisi di costi e benefici nel caso del settore bellico, dove entrano in ballo questioni etiche di carattere assoluto, come il rispetto dell'innocente in guerra e la dignità umana in generale. Per non colpire l'innocente si vorrebbe avere dei robot in grado di distinguere con estrema precisione il nemico dall'inerme civile. Questo livello di prestazioni non è stato raggiunto dalle applicazioni militari delle tecnologie robotiche. Per valutare l'accettabilità dei robot bisogna quindi basarsi su tanti criteri, che sono anche, ma non solo, di carattere etico.

LA SOMIGLIANZA TURBA E IL BIPEDE È INSTABILE

SICILIANO – L'accettabilità del robot rappresenta una sfida, non solo rispetto alla sicurezza, ma anche sotto il profilo della forma che gli si vuole dare. Mettiamo i robot dalle fattezze umane o animali. In Giappone e in Corea si ostinano a realizzarli, anche perché fa parte della loro religione scintoista credere che la macchina sia tanto accettabile quanto più somigli a un animale o a un essere umano[63]. In Europa invece c'è molto disinteresse[64] verso questo genere di robot. Basti pensare che i cagnolini *Aibo*, acquistati in Europa soltanto dai gruppi di ricerca, in Giappone sono andati a ruba. Non appena la Sony nel 1999 li ha messi in vendita, ne sono stati venduti via Internet migliaia di esemplari in pochi giorni, a duemila dollari ciascuno. Quando il robot dalle fattezze animali o umane ha invece una precisa destinazione d'uso l'accettabilità ha un senso. È il caso, per esempio, del robot foca *Paro*[65], impiegato con successo in via sperimentale nella riabilitazione psicomotoria dei

[63] La cultura giapponese è condizionata dall'animismo, che porta al bisogno di dare un corpo umano o animale agli oggetti con i quali si entra in relazione. Sul rapporto tra tecnologia e animismo è interessante la relazione che Naho Kitano (Facoltà di scienze sociali dell'Università di Waseda) ha presentato al Convegno mondiale di robotica ICRA 2007: "*Animism, Rinri, Modernization; the Base of Japanese Robotics*". Kitano sostiene che alla base del forte sviluppo della robotica in Giappone ci sia l'antichissima tradizione animista che permea tuttora la cultura del paese. La relazione è disponibile sul sito www.roboethics.org alla pagina: http://www.roboethics.org/icra07/contributions/KITANO%20Animism%20Rinri%20Modernization%20the%20Base%20of%20Japanese%20Robo.pdf/.

[64] Il tema è affrontato nel capitolo 3, nell'intervista a Giuseppe O. Longo.

[65] Il robot *Paro* pesa 2800 grammi e ha un aspetto di cucciolo di foca molto verosimile È stato progettato da Takanori Shibata dell'*Istituto di Scienza e Tecnologia Avanzata* di Tokio, in collaborazione con Patrizia Marti dell'Università di Pisa, dove un gruppo

bambini autistici e nella terapia del contatto negli anziani. E in effetti *Paro*, non turba affatto, ma mette allegria e fa tenerezza.

TAMBURRINI – Sugli effetti psicologici di *Paro* c'è uno studio sulla relazione uomo-robot condotto dall'Università di Siena. Ma quando di mezzo c'è la figura umana, l'accettabilità del robot può farsi critica: la somiglianza può esserci, ma fino a un certo punto. È quanto sostiene il giapponese Masahiro Mori nell'ipotesi della U*ncanny valley*[66] (la valle del perturbante, ndr), da lui elaborata nel 1970. Mori dice che quando la somiglianza è tale da non distinguere bene se si tratta di un essere umano o di una macchina, il robot può sembrare un cadavere, o uno zombi, e si scatena una repulsione emotiva, che diminuisce man mano che la somiglianza aumenta o si riduce.

SICILIANO – In effetti ci sono robot umanoidi davvero impressionanti. Come *Repliee Q1*[67] progettata da Hiroshi Ishiguro all'Università di Osaka, in Giappone. A mio avviso è inaccettabile l'idea di riprodurre un essere umano in modo così verosimile. È vero che anche negli Stati Uniti si comincia a realizzare robot umanoidi, ma la differenza è che in Giappone ci credono davvero. Mentre in Usa la produzione ha più a che fare con il vezzo di realizzare bambole molto verosimili: giocattoli, per intenderci. Il punto su cui discutere è cosa possiamo effettivamente fare con i robot umanoidi. Personalmente ho molti dubbi. Perché a dire il vero, se mai un giorno dovessimo davvero affidarci a questo tipo di macchine, il bipede è certamente il meno indicato. Non è facile infatti insegnare a un robot dotato di gambe e piedi come si fa a camminare. Un bambino impiega un anno ad imparare! Servirebbe una tecnologia avanzata e costosa. E inoltre non ne varrebbe la pena, perché l'impresa comporterebbe problemi di affidabilità e di sicurezza, difficilmente superabili[68].

---

di lavoro studia la relazione uomo-robot. *Paro* è impiegato in via sperimentale per la riabilitazione psicoterapica di persone con handicap, soprattutto bambini e anziani. Ha una scheda che raccoglie un numero elevato di dati, anche sui progressi dei suoi "pazienti". In Italia è stato utilizzato alla *Fondazione Peppino Scoppa* di Angri, in provincia di Salerno.

[66] Dell'ipotesi di Marashiro Mori si parla nel prossimo capitolo.

[67] *Q1* è un modello di robot umanoide il cui volto ha l'aspetto di una tipica ragazza giapponese e che fa parte della serie di robot *Repliee* sviluppati all'Università di Osaka (http://www.eng.osaka-u.ac.jp/en/index.html) da Hiroshi Ishiguro. *Q1* è stato presentato nel 2005 all'expo internazionale di Aichi, in Giappone. Per usare la terminologia robotica, ha 31 gradi di libertà, cioè tante sono le parti del suo corpo che possono muoversi in varie direzioni. Il modello *Q1* è stato preceduto da *R1*, che ha l'aspetto di una bambina di 5 anni (della figlia di Ishiguro per l'esattezza) ma con meno libertà. L'ultimo modello della famiglia *Repliee* è *Q2* (del 2005): rispetto a *R1* ha solo maggiori capacità di movimento. L'obiettivo della serie *Replee* è la realizzazione in prospettiva di un robot non distinguibile da un essere umano per aspetto, capacità di movimento e di parola. Sulla serie dei vari modelli sono disponibili molti video su *Youtube*. *Q1*: http://www.youtube.com/watch?v=biBHJvGx3s8; *R1* (molto inquietante!): http://www.youtube.com/watch?v=0P-Jl6Hb5Vw.

[68] Cfr. Rodney Brooks, Prefazione all'"*Handbook of Robotics*", op. cit.

Avere in un ambiente non strutturato come quello domestico un robot che cammina su due piedi, già di per sé instabili, sarebbe troppo rischioso.

L'UMANOIDE, UN VANTO E UN'OCCASIONE

TAMBURRINI – I giapponesi fanno questo tipo di considerazione ai fini della progettazione e realizzazione di sistemi robotici?

SICILIANO – I giapponesi si rendono perfettamente conto di non poter superare i loro confini geografici con i robot umanoidi. Tant'è che la Sony non solo non produce più il cagnolino *Aibo*[69], ma ha anche sospeso gli investimenti destinati al progetto *Qrio*[70], il robot bambino curioso. *Qrio*, in particolare, ha rappresentato per l'azienda produttrice per lo più una sorta di operazione pubblicitaria, volta a dimostrare al mondo il possesso di una tecnologia avanzata, di cui tutta la sua elettronica di consumo non è altro che un sottoprodotto. Ma c'è anche un'altra questione da prendere in seria considerazione. Le società giapponesi, come Honda e Toshiba, hanno già occupato il settore manifatturiero europeo con i loro robot industriali. E ora puntano ai centri di ricerca, dove si stanno insediando con finanziamenti e accordi di collaborazione. Per esempio, a Bielefeld, in Germania, c'è già un centro di ricerca finanziato da Honda. In fin dei conti i giapponesi, che non realizzano soltanto robot umanoidi, hanno capito che in Europa i ricercatori sono bravi.

5. Bravi davvero!

FACCIO IL CAFFÈ?

SICILIANO – *Justin*, un mezzo busto realizzato in Germania[71], rappresenta la tecnologia di punta della robotica europea. Le sue braccia sono composte da due differenti bracci KUKA[72], il robot industriale più leggero e più avanzato che ci sia. Grazie a un sistema di telecamere posizionate nella testa, *Justin* è in grado di vedere e di riconoscere la posizione di un oggetto. Inoltre dispone di un sistema centralizzato di sincronizzazione, grazie al quale

[69] Aibo è stato ritirato dal mercato nel 2006 dalla società giapponese Sony, che lo produceva dal 1999.

[70] Sul sito *Youtube* ci sono molti video di *Qrio*: http://www.youtube.com/watch?v=33a33XEVHKE/

[71] *Justin* è stato realizzato dall'*Agenzia spaziale tedesca* (DLR - *Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt*), che ha 13 sedi in Germania (http://www.dlr.de).

[72] Cfr nota n. 25

può manipolare gli oggetti con entrambe le mani, tanto da riuscire a preparare una bevanda con estrema precisione. A livello esemplificativo *Justin* rende il concetto di cosa sia in robotica la cosiddetta "manipolazione bimanuale", che è al centro del progetto *Dexmart*. Affinché i movimenti di *Justin* siano calibrati e precisi devo poter gestire in modo intelligente, sia il suo moto sia le sue forze. Ma senza sincronizzazione tra gli arti (che in *Justin* sono per l'appunto due robot distinti) sarebbe impossibile manipolare un oggetto con due mani. Questa è la difficoltà della manipolazione bimanuale: contare su un controllo centralizzato intelligente che consenta di gestire due robot contemporaneamente.

EMULO I MOVIMENTI

SICILIANO – *UB Hand III*[73], messa a punto dall'Università di Bologna, è una delle prime mani a dimensione reale mai realizzate. Ha sensori in gel per una maggiore sensibilità nel tatto. La costruzione delle mani meccaniche a dimensione naturale ha sempre comportato problemi per la difficoltà di miniaturizzazione dei motorini delle dita. La mano *UB Hand III* rappresenta abbastanza bene il concetto di robot aptico, che si limita, grazie a un collegamento aptico, a emulare i movimenti, che in questo caso sono quelli della mano di una persona. Se metto sotto la robot mano una bottiglia, e a distanza faccio finta di afferrarla con la mia mano, la mano robot, a cui sono collegato grazie a un guanto sensorizzato, l'afferra emulando i miei stessi movimenti. Questo tipo di robot potrebbe trovare applicazione nella manipolazione di oggetti in luoghi inaccessibili o lontani, dove sia possibile il controllo a distanza.

6. Il ciborg è qui?

IL FUTURO PUÒ ATTENDERE

SICILIANO – Chi crede che il robot tuttofare possa presto entrare nelle case e negli uffici si sbaglia. Siamo ancora all'alba della robotica di servizio, che prevede certamente molti sviluppi, alcuni dei quali imprevedibili. Il problema è che spesso quando si fanno le previsioni sull'impiego dei robot in società si guarda troppo in avanti, come se il futuro del robot maggiordomo, tanto per fare un esempio, fosse dietro l'angolo. Ma la tecnologia oggi non è ancora sufficientemente assestata per poter fare previsioni di questo tipo.

[73] Per approfondire si vada alla pagina web dell'Università di Bologna dedicata al progetto *UB Hand III*: www-lar.deis.unibo.it/activities/dexterousmanipulation/UBHandIII/index.html/.

TAMBURRINI – Tuttavia il robot utensile che interagisce con l'operatore nell'officina lo vedo come qualcosa di molto più vicino.

SICILIANO – Potrebbe essere definito il primo personal robot industriale. Ma oltre all'utensile potrebbe profilarsi un'altra possibilità, rappresentata da una macchina più semplice, che non sia destinata all'operazione particolare, come un trapano, ma che, per esempio, possa essere indossata. Il Giappone ha prodotto di recente un'applicazione di questo tipo. Per l'esattezza un esoscheletro da indossare, una sorta di vestito che potenzia la capacità di camminare e di portare pesi. Si chiama *HAL, hybrid assistive limb*[74], permette di portare pesi e di scendere le scale senza fare fatica e può senza dubbio essere impiegato per le persone che hanno difficoltà nel muoversi. Ma l'idea dell'esoscheletro viene dalla ricerca bellica statunitense, oggi declinata, come tante altre applicazioni militari, ad uso civile.

UNO STRACOLMO ZAINO LEGGERO

SICILIANO – Uno dei primi esoscheletri robot nasce dal progetto *Bleex*[75], guidato dalla Università di Berkeley, in California, all'avanguardia nella ricerca robotica militare. *Bleex* è uno zaino intelligente da mettere sulle spalle e da collegare alle terminazioni nervose delle gambe. Il soldato che lo indossa non ne sente il peso, perché lo scarica grazie a un meccanismo di autocompensazione che lo immerge in qualcosa di molto simile a una realtà virtuale. Nello zaino si possono quindi mettere apparecchiature pesanti, senza sentirne il peso. In definitiva, chi indossa l'esoscheletro si trasforma in un ciborg, perché si vede alterate quelle che sono le proprie capacità senso-motorie e propriocettive.

TAMBURRINI – Riguardo il rapporto stretto che si viene a creare tra corpo umano e macchina vale la pena distinguere vari gradi di simbiosi. Nel caso dello zaino militare, così come altri esoscheletri di questo genere, c'è un segnale in entrata (input) che va dal robot al sistema nervoso periferico e cambia la propriocezione e forse anche la percezione del sé. Un sogno tipico della cibernetica, invece, è il collegamento in uscita (output), che faccia in modo che sia il sistema nervoso centrale o periferico a comandare il robot. Un controllo di questo genere mi permetterebbe, per esempio, di controllare arti artificiali. In questo contesto la ricerca ha fatto molti passi in avanti, ma per le applicazioni si deve ancora attendere[76].

---

[74] Il robot vestito *HAL* è stato progettato da Yoshiyuki Sankai e prodotto nel 2008 dall'azienda giapponese *Cyberdyne* . Per capire di cosa si tratta è consigliabile guardarlo all'opera, per esempio in un filmato messo in rete su *Youtube* dalla casa madre: http://www.youtube.com/watch?v=ynL8BCXih8U/.

[75] Per approfondire c'è il sito web del progetto Bleex, dove si possono scaricare anche i filmati sullo zaino militare esoscheletro: http://bleex.me.berkeley.edu/bleex.htm.

[76] La prospettiva di controllare, o di essere controllati, da robot che fungono da protesi del corpo umano apre questioni etiche urgenti. Molte delle quali sono trattate e approfondite dal programma europeo "*Ethicbots*", acronimo di *Emerging Technoethics of Human Interaction with Communication, Bionic and Robotic Systems*. Dieci istituti di ricerca e università di ambito comunitario sono chia-

7. Curare col robot

SI PUÒ FARE

SICILIANO – Invece gli esoscheletri anche se non sono ancora prodotti di massa, potrebbero diventarlo presto. Come d'altronde lo sono già i robot destinati alla riabilitazione. *Manus*[77], realizzato al MIT, il *Massachusetts Institute of Technology* di Boston, per esempio, aiuta le persone colpite da un ictus a recuperare le capacità senso-motorie compromesse dall'attacco. Il fisiatra programma la terapia di riabilitazione (funziona come una sorta di videogioco interattivo) e il paziente fa ginnastica con la macchina, che registra in modo oggettivo i progressi raggiunti.

TAMBURRINI – Questo genere di robot sopperisce alla cronica mancanza di personale addetto alla terapia.

SICILIANO – Siamo però ancora a livello di prototipo. I robot *Manus* sono attivi in via sperimentale soltanto in alcuni centri pilota. Ma è significativo il fatto che, per esempio, all'Università Campus Bio-medico a Roma, dove la macchina è in funzione, la lista delle persone che vogliono sottoporsi alla terapia sia molto lunga. Segno che i robot impiegati per la riabilitazione fisica sono ben accettati[78].

TAMBURRINI – Questo genere di applicazioni mediche le vedo molto più diffuse rispetto, per esempio, ai robot chirurghi. Sono stati fin troppo propagandati con l'idea di eseguire operazioni chirurgiche a distanza in paesi privi di strutture, ma questa motivazione è piuttosto debole. È vero che il robot chirurgo non necessita di un'equipe medica, ma per gesti-

---

mati a riflettere sulle conseguenze morali inerenti lo sviluppo delle nuove tecnologie, come i sistemi robotici e bionici. In particolare, sulla simbiosi uomo-macchina si veda l'articolo pubblicato sulla rivista *Teoria*, nel volume omonimo "*Ethicbots*" (Ed. ETS, Pisa, 2007): "*Sul monitoraggio etico delle interfacce cervello-macchina*", di Federica Lucivero e Guglielmo Tamburrini.

[77] Il sistema robotico *Manus*, per la riabilitazione fisica delle persone colpite da ictus, è stato progettato al MIT di Boston da Hermano Igo Krebs e Neville Hogan, nel 2000. In Italia *Manus* è impiegato sperimentalmente dal 2005 al Polo Sant'Anna Valdera, di Pontedera, e recentemente viene usato con successo all'Università *Campus Bio-medico* di Roma, sotto la guida di Eugenio Guglielmelli. Sul sito del MIT di Boston è disponibile una pagina che illustra le caratteristiche e il funzionamento del robot (http://web.mit.edu/newsoffice/tt/2000/jun07/manus.html).

[78] I robot impiegati nella riabilitazione fisica e neurologica sono molti e di vario tipo. Un singolare esempio è rappresentato dalle già citate robot-mattonelle di Henrik Hautop Lund (University of Southern, Danimarca), che confermano la teoria occidentale del robot che ci sono ma non si vedono. Sono tavolette modulari interattive in grado di apprendere, con cui si può formare un tappeto calpestabile o una parete. Le mattonelle registrano i movimenti di chi le tocca, imparano a riconoscerle e interagiscono suggerendo di compiere un percorso corretto. Questi robot dall'aspetto singolare, sono utilizzati per la terapia fisica e l'addestramento sportivo (calcio e danza, per esempio). Per approfondire l'argomento si veda: Lund, H. H., Klitbo, T., and Jessen, C. (2005) "*Playware Technology for Physically Activating Play*", in *Artificial life and Robotics Journal*, Vol. 9.

re questi sistemi robotici serve sul posto personale specializzato, sia infermieristico sia per la manutenzione del sistema robotico.

È IL CHIRURGO MIGLIORE!

SICILIANO – Tuttavia c'è un chirurgo d'eccezione. Si chiama *da Vinci*[79], impiegato in molte operazioni, è il migliore in assoluto sulla piazza per gli interventi alla prostata. È molto più preciso di un chirurgo in carne ed ossa, e favorisce una ripresa rapida del paziente in convalescenza. Dopo gli Stati Uniti, dove il sistema è stato sviluppato, il paese che più lo adotta, prevalentemente per la chirurgia prostatica, è l'Italia, dove all'opera ce ne sono circa una trentina. Purtroppo molti ospedali non hanno il personale specializzato indispensabile per usarlo e mi chiedo quindi perché se ne siano dotati. È singolare, invece che in Giappone, malgrado gli alti livelli di tecnologia robotica, si faccia pochissima chirurgia con i robot.

TAMBURRINI – I sistemi robotici in chirurgia sono molto utili anche per la simulazione degli interventi, per l'addestramento di chi andrà a operare.

SICILIANO – Infatti ci sono simulatori utilizzati per l'addestramento nella chirurgia endoscopica, come per esempio il sistema *SimBionics*, con cui si possono addirittura emulare la consistenza dei tessuti. Questi macchinari funzionano come un videogioco di realtà virtuale e hanno interfacce aptiche che restituiscono una sensazione fisica così verosimile da riuscire a vedere e sentire il tessuto, come se fosse reale.

SE SBAGLIA DI CHI È LA COLPA?

TAMBURRINI – L'applicazione dei sistemi robotici in ambito medico comporta però da parte di chi opera un atto di delega parziale di controllo alla macchina. Ciò vuol dire che il controllo di certe azioni è diviso tra l'operatore e il sistema robotico. Questa condizione fa

[79] Il sistema *da Vinci* viene prodotto in USA dal 1999. Nasce in'ambito militare, a fronte della necessità di operare chirurgicamente in territori di guerra, appoggiandosi al satellite. Oggi è usato per qualsiasi intervento di chirurgia generale e di microchirurgia (chirurgia vascolare, urologia, ginecologia ecc.), quando si richieda un'estrema precisione Il chirurgo umano opera a distanza da una *consolle* con un visore stereo in tre dimensioni (3D), da cui comanda vari strumenti, tra cui due bracci meccanici dotati di pinze che intervengono chirurgicamente sul paziente. Il suo mercato è vastissimo. Sul sito web dell'azienda che lo produce (la californiana *Intuitive Surgical Inc*, "spin off" del'Università di Stanford) c'è un video che lo mostra all'opera: http://www.intuitivesurgical.com/products/da_vinci_video_overview.aspx/.

nascere problemi di tipo etico e giuridico, che riguardano la responsabilità oggettiva e morale. Se nel corso di un intervento chirurgico il robot sbaglia, di chi è la colpa, del robot o del medico che l'ha guidato? È difficile stabilirlo con certezza. Se, per esempio, l'operatore dà al robot un comando di alto livello, che deve essere eseguito nel dettaglio dalla macchina, che però compie un errore, è difficile stabilire di chi sia la responsabilità. Anche con sistemi robotici all'avanguardia i rischi non mancano, perché c'è sempre la possibilità di andare incontro ad errori di varia natura. Allora occorre stabilire una serie di salvaguardie per pazienti e operatori sanitari, che facciano da paracadute sociale. E la società deve interrogarsi già adesso sui vantaggi e sugli svantaggi che i robot ad uso medico comportano.

SOLUZIONI, SUBITO!

TAMBURRINI – Per affrontare i problemi di responsabilità non abbiamo bisogno della prospettiva di lungo periodo. Oggi con i sistemi robotici si fanno operazioni chirurgiche, si fa riabilitazione psicomotoria, si fa diagnostica per immagini. Ed è adesso che dobbiamo chiederci se e in che misura vogliamo accettare i rischi che l'adozione dei sistemi robotici comporta, e scegliere le linee di condotta da adottare in caso di errori. Per affrontare questi problemi reali, che riguardano il presente di una società tecnologicamente dinamica, non c'è bisogno di affidarci alle ipotesi di una società futura. Ipotesi anche affascinanti, che sfociano in temi interessantissimi, come la prospettiva del ciborg, ma che hanno a che fare più con l'immaginazione letteraria ed emotiva che con delle possibilità tecnologiche che oggi abbiamo a disposizione.

8. Troppa immaginazione fa male

GLI ESPERTI CHE FANTASTICANO …

TAMBURRINI – Il fatto è che le continue proiezioni sul futuro imminente di tecnologie particolarmente innovative creano grandi attese nella popolazione, che si aspetta di poter toccare subito con mano le ipotesi pronosticate. Ma se poi per qualsiasi ragione i progressi non arrivano, tutti si resta delusi. E chi ha promesso il futuro dietro l'angolo rischia il discredito. È già successo con l'intelligenza artificiale, che, pur avendo ottenuto risultati molto significativi, ha spesso creato aspettative da fantascienza, basandosi soprattutto sulle ipotesi di fondo che hanno guidato la ricerca in quel settore[80].

[80] Per approfondire si veda di Ernesto Burattini e Roberto Cordeschi (a cura di), "*Intelligenza artificiale, Manuale per le discipline della comunicazione*", Carocci, Roma, seconda edizione 2007.

… LA STAMPA CHE ESAGERA

SICILIANO – La cosa che mi infastidisce di più sono le esagerazioni dei giornalisti sulle potenzialità dei robot. Dai loro servizi emerge sempre la capacità di queste macchine di risolvere tutti i problemi della vita. Molte volte mi è capitato di leggere o di ascoltare notizie esagerate rispetto alle concrete possibilità di impiego e di azione di un robot. Spesso registro anche imprecisioni tecniche e scientifiche. Chissà, forse la categoria professionale non ha tempo di verificare la correttezza delle informazioni con gli esperti. Certo è che i possibili sviluppi della robotica attraggono molto, ed entrano nell'immaginario collettivo.

… E IL MARKETING, PER MEGLIO APPARIRE

SICILIANO – Ma se le notizie sono ingrandite rispetto alla realtà la responsabilità non è solo dei giornalisti. Molte volte sono gli stessi centri di ricerca, consorzi, aziende, università che esagerano nella propaganda, portando all'attenzione dei media gli aspetti che più solleticano la fantasia dell'opinione pubblica. È evidente che questo tipo di strategia comunicativa, anche se riesce a far parlare di sé, dia adito facilmente a distorsioni e fraintendimenti da parte dei giornalisti, che non sono specializzati nella materia. Quando per esempio nell'estate 2008 è stato lanciato il progetto *Dexmart*, l'evento ha avuto un grande successo ed è stato ampiamente ripreso dalla stampa. Tuttavia a Napoli, da cui parte il coordinamento di quel progetto, la stampa in alcuni casi ha posto all'attenzione lo sperpero di denaro pubblico: "con tutta la disoccupazione che c'è e il problema dello smaltimento dei rifiuti, valeva la pena di costruire un robot barista, che proprio non serve a niente?" Il barista in questione è *Justin*, il robot di punta di cui abbiamo parlato. Di sicuro la cosa è divertente, ma non gioca a favore né del progetto, che come sappiamo ha ben altri obiettivi, né della ricerca robotica. Che, come scienza, è appena agli albori.

Che cos'è un robot?

Qualunque definizione di robot è o troppo stretta o troppo larga e agli esperti non piace darne una in particolare. Ai profani però serve. Primo, per sapere di cosa si parla quando si parla di robot. Secondo, per fugare idee tecnofobiche sul predominio delle macchine sull'uomo, o al contrario, per asserirle con cognizione di causa. E così, per fare chiarezza, abbiamo convinto Bruno Siciliano a dirci più o meno cosa sia un robot o, meglio, un sistema robotico.

UN CORPO MECCANICO E TRE COMPONENTI - «Un sistema robotico è un insieme complesso rappresentato da più sottosistemi (figura 2). Come componente essenziale c'è un sistema meccanico, dotato in generale di organi di locomozione per muoversi (ruote, cingoli, gambe meccaniche), e di organi di manipolazione per intervenire sugli oggetti circostanti (braccia meccaniche, mani artificiali, o utensili). Per farlo agire c'è un **sistema di attuazione**, che anima le componenti meccaniche del robot. Per farlo percepire c'è un **sistema sensoriale,** in grado di acquisire informazioni sia su se stesso (con sensori propriocettivi, come i trasduttori di posizione) sia sull'ambiente esterno (con sensori esterocettivi, come le telecamere). Infine, a connettere in maniera intelligente l'azione e la percezione, c'è un **sistema di governo**, in grado di comandare l'esecuzione dell'azione nel rispetto sia degli obiettivi imposti da una tecnica di pianificazione del compito sia dei vincoli imposti dal robot e dall'ambiente. La realizzazione del sistema di governo avviene secondo lo stesso principio del '*feedback*' (retroazione) preposto al controllo delle funzioni del corpo umano. E infatti, anche i meccanismi biologici che regolano la nostra vita sono basati sul sistema del '*feedback*'. Come la febbre, per esempio, che è una risposta a uno stato infettivo.»

FUNZIONA COME UN ESSERE UMANO «La somiglianza dei robot con gli esseri umani riguarda la sua funzionalità e non l'aspetto né tanto meno i sentimenti. Il robot infatti lo si definisce in base alla sua funzione robotica ed è per questo che è impossibile individuarlo in maniera univoca. Uno stormo di aerei UAV è a tutti gli effetti un sistema robotico, perché nello stormo in questione c'è un'intelligenza distribuita, c'è una parte sensoriale (il corpo fisico), e c'è la capacità di fare un'ispezione del territorio in modo intelligente (il feedback).»

UNA DEFINIZIONE CONDIVISA DA TUTTI: «Si può invece essere più chiari nel definire il robot che lavora in fabbrica. Secondo la definizione universalmente accettata dalla comunità dei robotici un robot industriale "è un manipolatore multifunzionale, riprogrammabile, controllato automaticamente. Programmabile in 3 o più assi, fisso o mobile, per essere utilizzato in applicazioni di automatismo industriale"[81]. In buona sostanza si tratta del robot manipolatore degli anni '80. Ma all'epoca chi avrebbe pensato di chiamare robot uno stormo di aerei?»

[81] Definizione di robot industriale UNI EN ISO del 1997, che include anche il manipolatore con gli attuatori e il sistema di controllo (hardware e software)

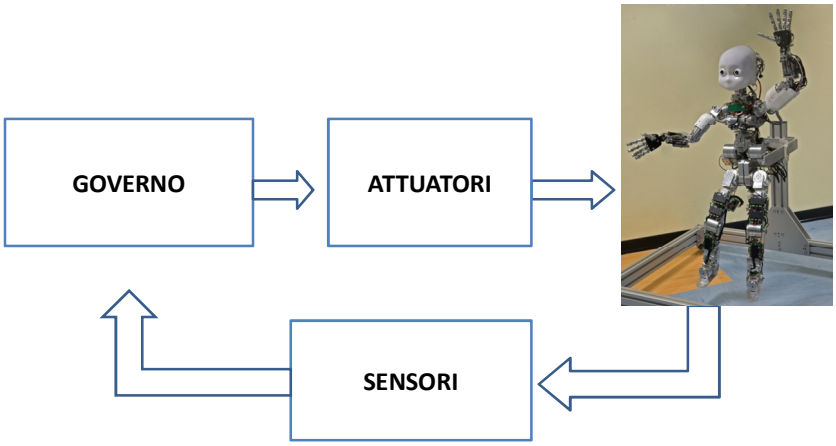


FIGURA 2 - Componenti di un sistema robotico

Capitolo 3
L'etica al tempo dei robot [1]

Com'era prevedibile, in quest'atmosfera disattenta, tra una popolazione più sollecita del proprio immediato vantaggio che vigile degli effetti lontani, la ripresa del progetto dei calcolatori biologici non provocò quasi alcuna reazione.

Giuseppe O. Longo, *"Il calcolatore biologico"*

Questo capitolo si compone di una lunga intervista a una delle figure più complete nel panorama degli esperti di robotica: Giuseppe O. Longo, ingegnere elettronico, matematico, cibernetico, epistemologo, esperto di intelligenza artificiale, professore di teoria dell'informazione all'Università di Trieste, saggista e romanziere. Longo ci parla dei robot: che cosa sono, che cosa implica la loro somiglianza con noi e la condivisione con lo stesso ambiente nostro, che cosa siamo disposti a concedere loro, perché dovrebbero avere dei diritti, che ruolo ha l'etica, perché ci fanno paura, perché rappresentano tabù e feticci, che funzione hanno nel contesto dei robot l'amore, la guerra e gli esperimenti sui "robot bambini", infine che ruolo hanno i neuroni specchio che ce li fanno riconoscere. È una visone, quella di Longo lucida e disincantata per il rigore scientifico che la contraddistingue, ma è anche profondamente etica, perché riguarda non solo l'oggi, ma il futuro che lasceremo in eredità a coloro che abiteranno questo mondo dopo di noi.

Prima di lasciare la parola al nostro esperto, soffermiamoci su alcuni temi della robotica che più coinvolgono l'immaginario collettivo, quelli che, nella fantascienza come nella realtà di tutti i giorni, suscitano speranze e inquietudine in po' in tutti. Vogliamo parlare del significato che ha, a livello di immaginario, di emozioni e di coscienza, il tentativo di costruire l'essere umano artificiale: il robot o il ciborg. E andiamo subito al cuore della questione: la somiglianza tra noi e le macchine.

[1] Il titolo è ripreso dall'articolo di Giuseppe O. Longo, *"L'etica la tempo dei robot*" (Mondo Digitale, marzo 2007).

TU COME ME ...

La forma del robot, lo abbiamo già detto, dipende da ciò che la macchina deve fare, cioè dalla funzione per la quale è stata progettata. Perciò un robot che abbia il compito di perlustrare dall'alto i parchi o le città avrà una forma aerodinamica, e somiglierà a un aereo o a un uccello, e non a un'automobile o a una bambola. Un robot che debba invece sbrigare le faccende di casa avrà forma e dimensioni compatibili con l'attività domestica e sarà dotato, per esempio, di braccia e mani per afferrare e manipolare, di ruote per camminare e di una testa mobile per vedere. Solo in alcune occasioni l'aspetto umano, difficile anche da riprodurre, si presta alle attività che queste macchine devono svolgere.

... HAI UN'ANIMA

Ma allora perché nell'immaginario collettivo il robot ha generalmente una forma antropomorfa e un comportamento molto simile al nostro, e appare ambiguo oppure ostile? Bisogna andare molto indietro nel tempo per capirlo e molto dipende dalle più antiche tradizioni religiose. Per esempio, «in Giappone - si legge in un interessante articolo di Naho Kitano[2] in tema di animismo e robotica - si crede per tradizione all'esistenza di una vita spirituale negli oggetti o nei fenomeni naturali: *Mi* (dio) e *Tama* (spirito). Fin dalla preistoria, la fede nella presenza di uno spirito negli oggetti è stata associata con le tradizioni giapponesi mitologiche relative allo Shintoismo, per le quali il Sole, la Luna, le montagne e gli alberi hanno ciascuno il loro spirito e sono considerate divinità. A ogni dio è stato dato un nome, gli sono state attribuite precise caratteristiche, e si crede che abbiano il controllo sui fenomeni umani e naturali. Questa credenza è rimasta nel tempo e ha continuato a influenzare i giapponesi nel rapporto con la natura e con l'esistenza spirituale. La convinzione è stata più tardi estesa agli oggetti artificiali e di uso quotidiano, che si crede abbiano uno spirito, in armonia con gli esseri umani. Anche dopo la forte automatizzazione e informatizzazione della società, il popolo giapponese continua a credere all'esistenza di uno spirito in ogni oggetto della vita quotidiana. [...] Anche oggi, quando gli strumenti a lungo utilizzati si rompono, invece di essere gettati via come spazzatura, si portano al santuario e si bruciano secondo la tradizione». In Giappone l'animismo è così diffuso da coinvolgere tutti, anche gli industriali e i robotici.[3] «A dicembre 2005 – si legge ancora nell'articolo –

[2] Naho Kitano "*Animism, Rinri, Modernization; the Base of Japanese Robotics*". Atti del Convegno mondiale di robotica ICRA 2007 (già citato). La traduzione è dall'inglese è di chi scrive.

[3] Cfr. di Mitsukuni Yoshida, "*The culture of ANIMA – Supernature in Japanese Life*", Mazda Motor Corp, Hiroshima, 1985.

la *Tmsuk*, un'azienda giapponese produttrice di robot, portò il suo umanoide *Kiyomori*, sviluppato in collaborazione con il *Takanishi Laboratory* dell'Università di Waseda, al tempio di *Munakata Taisha*, a pregare per la sicurezza del robot e per il successo dell'industria robotica».

SEI IL MIO TOTEM

Anche in Occidente la propensione a progettare e costruire robot dall'aspetto umano potrebbe derivare da una religione primitiva, il feticismo, che nell'antichità prevedeva l'adorazione di oggetti dalla forma vagamente umana o animale, ritenuti sacri e dotati di grandi poteri sull'umanità[4]. Del feticismo antico si è persa oggi ogni tradizione in Occidente, ma molto è rimasto nel feticismo moderno[5], che porta al desiderio appassionato dell'oggetto in sé, come può esserlo nel nostro caso il robot di aspetto umano. Se in Giappone, come anche in Corea del Sud, l'umanoide è culturalmente gradito a tutti, in Occidente può invece scatenare sentimenti repulsivi e innescare addirittura una sorta di tabù che ne preclude, salvo casi particolari, addirittura la progettazione, la costruzione e l'uso. Quindi da una parte l'attrazione feticistica, dall'altra la diffidenza e addirittura la ripugnanza.

Che la mania di costruire robot umanoidi in Occidente derivi da una sorta di feticismo lo si deduce anche dalla loro funzione autoreferenziale. Che ce ne facciamo, per esempio, di robot che sono riproduzioni fedeli del fisico Albert Einstein e dello scrittore di fantascienza Philip Dick, come quelle realizzate dall'azienda americana *Hanson Robotics* con grande impiego di denaro e tecnologia? Chi non prova raccapriccio davanti a questi robot può soltanto ammirare la riproduzione in sé, prendere atto delle icone che Einstein e Dick rappresentano, come quando si va al museo delle cere. E così questi prodotti altamen-

[4] Si veda il bel libro dell'antropologo Marc Augé, "*Il dio oggetto*", Meltemi, Roma, 2002. Interessante anche la prospettiva psicoanalitica di Louise J. Kaplan, nel volume "*Falsi idoli". Le culture del feticismo*", Centro studi Erickson, Gardolo (TN), 2008.

[5] Del feticismo moderno si è occupato nella seconda metà dell''800 il filosofo tedesco Karl Marx, nella teoria della merce da lui esposta nel libro 1° del Capitale (1867). Marx, in estrema sintesi, afferma che la forma della merce ha un valore simbolico in sé, in quanto proiettiamo in essa, come in uno specchio, i nostri desideri e le nostre aspirazioni. «… nel fenomeno della vista si ha realmente la proiezione di luce da una cosa, l'oggetto esterno, su un'altra cosa, l'occhio: è un rapporto fisico fra cose fisiche. Invece la forma di merce e il rapporto di valore dei prodotti di lavoro nel quale essa si presenta non ha assolutamente nulla a che fare con la loro natura fisica e con le relazioni fra cosa e cosa che ne derivano. Quel che qui assume per gli uomini la forma fantasmagorica di un rapporto fra cose è soltanto il rapporto sociale determinato fra gli uomini stessi. Quindi, per trovare un'analogia, dobbiamo involarci nella regione nebulosa del mondo religioso. Quivi, i prodotti del cervello umano paiono figure indipendenti, dotate di vita propria, che stanno in rapporto fra di loro e in rapporto con gli uomini. Così, nel mondo delle merci, fanno i prodotti della mano umana. Questo io chiamo il feticismo che s'appiccica ai prodotti del lavoro appena vengono prodotti come merci, e che quindi è inseparabile dalla produzione delle merci» (*Das Kapital - Kritik der politischen Oekonomie* (1867-1883) tr. it. "*Il capitale. Critica dell'economia politica*", Editori Riuniti, Roma, 1964, Libri I, cap. 1, pg. 67).

te tecnologici possono trasformarsi in feticci, bambole da ammirare o da tenere con sé per il puro gusto di godere della loro presenza e del loro aspetto.

E se la smania dei robot umanoidi troppo verosimili derivasse da una sorta di perversione analoga a quella di cui parlava Sigmund Freud[6] nel celebre "*Saggio sulle aberrazioni sessuali*" riguardo al feticismo? Potrebbe essere un'ipotesi. Per dirlo dovremmo però attendere i risultati di studi sui casi clinici da parte di psicologi, psicoanalisti e psichiatri che se ne dovranno interessare qualora la mania degli umanoidi dovesse un giorno prender piede e cominciare a creare problemi psicologici nelle persone.

Certo è che non c'è bisogno di aspettare che gli uomini si innamorino dei bambolotti tecnologici come quelli della *Hanson Robotics* per supporre che l'interazione con robot troppo simili a noi nell'aspetto e nei modi sia effettivamente problematica per molte persone. Lo aveva considerato già nel 1970 l'esperto di robotica giapponese Masahiro Mori[7], con un'ipotesi molto suggestiva, che va sotto il nome di "*Bukimi no tani"* (in inglese *"The Uncanny Valley"*, in italiano "La valle del perturbante").

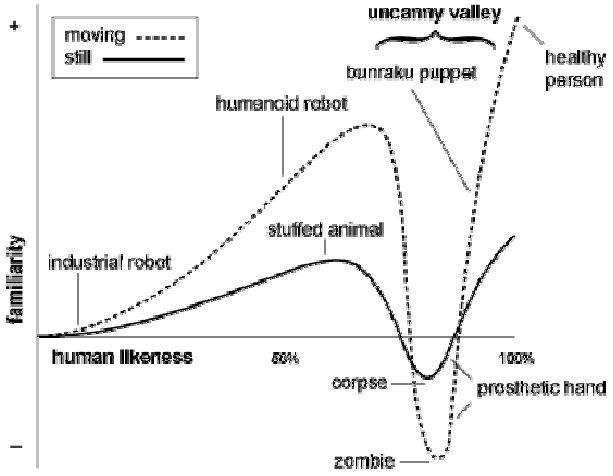
AIUTO, È UNO ZOMBI!

Che genere di reazione emotiva possiamo avere di fronte ad un robot molto simile a noi? All'epoca Mori disse che tutto dipende dal grado di somiglianza del manufatto. Se il robot ricorda solo vagamente la forma umana non ci facciamo neanche caso. Man mano che la somiglianza aumenta, l'artefatto suscita sempre più simpatia, diventa familiare, ci riconosciamo in lui, ci rassicura e la nostra interazione è positiva e amichevole. Quando invece il robot si fa molto simile a noi, ma non proprio identico, c'è un momento in cui la nostra reazione cambia di colpo e si trasforma all'istante in una forte repulsione: l'oggetto ci sembra dapprima un cadavere e poi, se la somiglianza cresce ancora un po', ci appare come uno *zombi*, un morto vivente. Quando il robot diventa pressoché identico ad un essere umano, il nostro rapporto torna improvvisamente empatico e ci comportiamo come se fossimo davanti a una persona. Questo andamento, che segue una curva che sale e poi

[6] Di feticismo e sessualità si è occupato il medico austriaco Sigmund Freud, considerato il padre della psicoanalisi. Nel libro "*Tre saggi sulla teoria sessuale*" (1905), e precisamente nel saggio "*Le aberrazioni sessuali*" (tr. it. Rizzoli, 1995), si spiega che nella perversione feticista la libido resta attaccata nel corso della vita a oggetti o a parti del corpo di irresistibile attrazione sessuale.

[7] Masahiro Mori (1927) è un robotico giapponese che studia da molti anni l'interazione tra robot e esseri umani e le questioni religiose inerenti la robotica. Nel 1970 pubblicò l'articolo "*Bukimi no tani"* sulla rivista "*Energy*" (7, 33–35, in giapponese), in cui espose l'ipotesi di cui si parla. Nel 1974 scrive il libro "*The Buddha in the Robot: a Robot Engineer's Thoughts on Science and Religion"*, pubblicato in lingua inglese nel 1981 da *Kosei* (Tokyo) e ristampato più volte. Attualmente Mori è presidente del *Mukta Research Institute* (Tokyo, Giappone), fondato da lui, dove si offre consulenza ad aziende e centri di ricerca che progettano robot. La versione inglese di "*The uncanny valley"*, tradotta da Karl F. MacDorman e Takashi Minato, è disponibile alla pagina web: http://www.androidscience.com/theuncannyvalley/proceedings2005/uncannyvalley.html

scende rapidamente, prende il nome di *Uncanny Valley*[8]. La metafora della valle, molto suggestiva, Mori la spiega così: «La scalata di una montagna è l'esempio di una funzione che non cresce in modo continuo: l'altitudine alla quale ci si trova non aumenta in modo costante, poiché la distanza dalla cima decresce per la presenza di colline e valli. Ho notato che, quando i robot appaiono molto simili agli umani, il nostro senso di familiarità cresce fino a che raggiungiamo una valle, che io chiamo "*Uncanny Valley*"»[9]



La curva dell'Uncanny Valley di M. Mori

IL TUO VOLTO, IL MIO SPECCHIO

"Valle del perturbante" è la traduzione proposta da Giuseppe O. Longo e riporta l'attenzione sugli aspetti psicoanalitici della mania di costruire i robot umanoidi: «Il termine inglese *uncanny* è la traduzione del tedesco *Unheimlich*, che in italiano si può rendere con "perturbante" o "spaesante," e fa riferimento a ciò che di inquietante, estraneo, finanche pericoloso, può abitare la nostra casa (*Heim*) o il cuore stesso della nostra identità. Questo concetto, che allude all'Altro che è in noi e che, ben noto e radicato da tempo nella psiche, riemerge dopo una lunga latitanza, fu introdotto da Ernst Jentsch in un saggio del

[8] Sull'ipotesi di Mori la bibliografia è scarsa. Si veda l'articolo di un gruppo di ricercatori del Dipartimento di Cibernetica dell'Università di Reading (Gran Bretagna): Gee, F.C. Browne, W.N. Kawamura, K., "*Uncanny valley revisited*", pubblicato su *Robot and Human Interactive Communication, 2005. ROMAN 2005. IEEE International Workshop on*, agosto 2005, pg 151 -157. Anche i progettisti statunitensi hanno cominciato a prendere in considerazione l'ipotesi dell'*Uncanny Valley*. È da consultare a riguardo il libro di Yoseph Bar-Cohen (del *Jet Propulsion Laboratory*, di Pasadena, in California, USA) "*Biomimetics: Biologically Inspired Technologies*" CRC Press Book, New York, Usa, 2006. A pag. 191, in un paragrafo dedicato all'identità visiva dei robot, si parla dell'ipotesi di Mori, anche se le informazioni non sono riportate in modo del tutto preciso.

[9] Marashiro Mori, "*Bukimi no tani*" in op. cit. (La traduzione dall'inglese è di chi scrive).

1906, *Zur Psychologie des Unheimlichen*[10], e fu ripreso e approfondito da Freud in uno scritto del 1919, *Das Unheimliche*[11]. Il perturbante è ciò che è familiare e insieme spaventoso, è ciò che somiglia al domestico ma cela in sé qualcosa di estraneo, enigmatico, indecifrabile e potenzialmente minaccioso. Tra questi oggetti possiamo annoverare il doppio, il sosia, l'ambiguo, l'ammiccante: ciò che suscita diffidenza per la sua somiglianza quasi perfetta, che allude all'Altro, e ci presenta questo spaesante specchio-di-noi.»[12].

E SE NON FOSSI TU?

Il concetto del perturbante è importante per la sua dualità: nello specifico il robot ci appare per ciò che è (una macchina) ma anche per ciò che non è (un cadavere o addirittura uno zombi). Potrebbe essere racchiusa proprio dietro questo dualismo la ragione per cui ci attraggono tanto le immagini di robot e di mostri umanoidi, tanto cari al cinema e alla letteratura e anche a molti progettisti di robot.

Ma c'è un altro interessante elemento di ambivalenza, che emerge tra le righe del saggio sulla psicologia del perturbante dello psichiatra che ispirò Freud: «il dubbio che un essere apparentemente animato sia vivo davvero e, viceversa, il dubbio che un oggetto privo di vita sia per caso animato». Sorge il sospetto che «processi automatici, meccanici, possano celarsi dietro l'immagine consueta degli esseri viventi». Su questo effetto gioca molto la narrazione, e infatti riferendosi all'opera dello scrittore tedesco romantico E.T.A. Hoffmann[13], Jentsch nel suo saggio scrive: «Uno degli espedienti più sicuri per provocare senza difficoltà effetti perturbanti mediante il racconto consiste nel tenere il lettore in uno stato di incertezza sul fatto che una determinata figura sia una persona o un automa, facendo in modo però che questa incertezza non focalizzi l'attenzione del lettore, affinché costui non venga indotto ad analizzare subito la situazione e a chiarirla, perché in tal caso questo particolare effetto emotivo svanirebbe facilmente».

---

[10] Ernst Jentsch: *"Zur Psychologie des Unheimlichen"*, in: *Psychiatrisch-neurologische Wochenschrift,* n. 22 (1906). Tr. It., "Sulla psicologia dell' *Unheimliche*", in AA. VV., "*La narrazione fantastica"*, Nistri Lischi, Pisa, 1983, pp. 399 – 410.

[11] Sigmund Freud: *"Das Unheimliche"* (1919), in: *Gesammelte Werke* Bd. XII, Frankfurt am Main, 1999. Trad. It."*Il perturbante"*, in "*Opere"*, 1917-1923, Torino, Boringhieri, 1986.

[12] Il brano è tratto da un articolo inedito di Giuseppe O. Longo, ricevuto personalmente dall'autore.

[13] Nella vasta produzione letteraria di E.T.A. Hoffmann (1776 -1822) c'è anche il racconto "*Die Automate*" (1822). Tr. it. "*L'Automa*", Edizioni Theoria, Roma, 1985.

Alla base dell'ipotesi di Masahiro Mori c'è senza dubbio l'empatia, ovvero «l'unione o la fusione emotiva con altri esseri od oggetti (considerati animati)» per usare la definizione data dal filosofo Nicola Abbagnano[14]. Il concetto di empatia nel corso degli anni è stato filosoficamente dapprima contestato, poi rielaborato e infine annientato dalle due grandi filosofie del '900: l'ontologia di Martin Heidegger e l'esistenzialismo di Jean Paul Sarte. Oggi però l'empatia è tornata alla ribalta, anche grazie alla rilevanza che le è stata data dalle neuroscienze[15]. E in particolare dalla scoperta dei neuroni specchio da parte di un gruppo di ricercatori italiani dell'Università di Parma, coordinati da Giacomo Rizzolatti[16]. In estrema sintesi, il gruppo di Parma ha scoperto che quando osserviamo gli altri compiere una qualunque azione (per esempio fare un passo di danza) nel nostro cervello si attivano gli stessi neuroni (i "neuroni specchio") che si attiverebbero se compissimo effettivamente l'azione osservata, come se anche noi facessimo esattamente quanto fa l'altro. La scoperta ha dato una base fisiologica all'empatia, e la capacità umana di sapersi mettere nei panni dell'altro è stata giustificata positivamente. È probabile quindi che i nostri neuroni specchio si attivino anche davanti alle azioni dei robot antropomorfi. E in effetti recenti esperimenti mostrano che l'osservazione di robot che muovono braccia e mani per raggiungere e manipolare oggetti attiva il sistema dei neuroni specchio umano. Questo suggerisce la possibilità di sviluppare un codice d'azione di base condiviso tra esseri umani e robot[17]. Spetta ora alla ricerca il compito di scoprire quali siano le caratteristiche fondamentali di questo codice, in modo tale da progettare robot con un'architettura adeguata al sistema specchio, il tutto per comprenderci reciprocamente, noi e i robot, senza troppi problemi.

---

[14] Voce "Empatia" in Nicola Abbagnano, "*Dizionario di filosofia"*, Utet, Torino, 2001. Il termine, si legge nella definizione di Abbagnano, «fu diffuso specialmente da Theodor Lipps (filosofo e psicologo tedesco, 1851 – 1914, ndr) che l'adoperò per chiarire la natura dell'esperienza estetica (Aesthetic, 2 voll., 1903; 2ª ediz.1914). Questa esperienza, come pure la conoscenza degli altri io, avverrebbe, secondo Lipps, attraverso un atto di imitazione e di proiezione. La riproduzione, dovuta all'istinto di imitazione, delle manifestazioni corporee altrui, riprodurrebbe in noi stessi le emozioni che con esse solitamente si accompagnano, ponendoci così nello stato emotivo della persona cui quelle manifestazioni appartengono. Appunto tale proiezione, in un altro essere, di uno stato emotivo, richiamato in noi dalla riproduzione imitativa dell'espressione corporea altrui (per es., del quadro somatico della paura o dell'odio, ecc.), sarebbe il modo della comunicazione delle persone.».

[15] Si vedano due libri di Laura Boella (professore di filosofia morale all'Università degli Studi di Milano): "*Sentire l'altro. Conoscere e praticare l'empatia*", Raffaello Cortina Editore, Milano, 2006; "*Neuroetica, la morale prima della morale"*, Raffaello Cortina, Milano, 2008.

[16] Si veda di Giacomo Rizzolatti e Corrado Sinigaglia, "*So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*", Raffaello Cortina editore, Milano, 2006.

[17] Roberto Previte, Giovanni Tessitore, Ezio Catanzariti, Guglielmo Tamburrini, "*Towards a Shared Action Code for Human-Robot Interaction"*, Conferenza su: *Informatics Education and Research for Knowledge-Circulating Society, ICKS 2008. International* , Volume, Issue , 17-17 Jan. 2008 Page(s):6 – 11

Anche se del tutto irrazionale, pare quindi che sia naturale umanizzare i robot che ci somigliano in aspetto e comportamento. D'altronde, la ragione non è tutto e oggi sappiamo quanto contino le emozioni anche nel ragionamento. Come si legge in "Arcipelago delle emozioni"[18], il bellissimo saggio dello psichiatra Eugenio Borgna: «Noi conosciamo le cose con la ragione astratta e calcolante ma anche con le ragioni del cuore. L'intuizione, l'orizzonte di conoscenza emozionale, ci consente di cogliere il *senso* di ciò che un'altra persona prova e rivive: la misura della sua immaginazione e della sua fantasia, della sua gioia e della sua malinconia, della sua sofferenza e della sua angoscia, della sua capacità di amare e della sua in-differenza ai valori dell'amore e dell'amicizia. (…) Non c'è alcuna conoscenza, alcuna esperienza nella vita che non sia accompagnata da una tensione emozionale: premessa a ogni utilizzazione delle conoscenze acquisite razionalmente».

Una componente emotiva c'è sempre anche nel modo in cui progettiamo e utilizziamo un prodotto tecnologico, come i robot. E se questi devono somigliarci, allora devono anche essere un po' emotivi. Come fa notare Donald Norman in "*The design of every day thinks*"[19]: «i robot hanno la necessità di qualcosa di simile all'emozione per arrivare a prendere decisioni complesse. (…) Queste decisioni impongono di andare oltre i dati concettuali, di usare l'esperienza e la conoscenza generale per trarre alcune deduzioni sul mondo e quindi usare il sistema emozionale per definire la situazione e passare all'azione. Basandoci soltanto sulla logica pura, potremmo trascorrere l'intera giornata bloccati da qualche parte, incapaci di muoverci mentre riflettiamo su tutto quello che potrebbe andare male, come accade ad alcune persone con disturbi del sistema emozionale. Per poter prendere decisioni ci servono le emozioni: anche i robot ne avranno bisogno». Che tipo di emozioni dovrebbero avere i robot? «La risposta – si legge ancora nel libro - dipende dal tipo di robot che si ha in mente, dal compito che deve eseguire, dalla natura dell'ambiente circostante e dalla sua vita sociale. Interagisce con altri robot, animali, macchine o persone? Se è così, avrà bisogno di esprimere il proprio stato emotivo come pure di determinare le emozioni di persone e animali con cui interagisce».

[18] Eugenio Borgna, "L'arcipelago delle emozioni", Feltrinelli, Milano, 2001

[19] Donald A. Norman , "*The design of every day thinks*", MIT Press, Boston , 1998. Edizione italiana (a cui si fa qui riferimento per la traduzione): "*Emotional design. Perché amiamo (o odiamo) gli oggetti di tutti i giorni*", Apogeo Editore, Milano, 2004

Norman non specifica quali emozioni dovrebbe avere un robot. Ma apre una questione importante: se l'intelligenza umana non è solo razionale ma anche emotiva, il robot deve somigliarci anche sotto il profilo emotivo. E chissà se, alla luce di nuove scoperte, li si potrà dotare anche di neuroni specchio artificiali, tanto da renderli anche empatici nei nostri confronti!

NON ANDARE ALLA FIERA!

Se in letteratura e al cinema si è sempre fatto appello alle presunte emozioni dei robot, oggi anche il marketing aziendale se ne occupa: per vendere i prodotti e magnificare l'immagine del marchio. C'è un divertente spot pubblicitario realizzato dai creativi della *iRobot*, l'azienda che produce *Roomba*, l'elettrodomestico per la pulizia dei pavimenti. Il cortometraggio, mandato in onda dalla NBC, il network radiotelevisivo americano, illustra le doti del piccolo *Woomba* (un *Roomba* in miniatura): così scrupoloso nelle sue funzioni di pulizia da volersi occupare in modo ossessivo anche dell'igiene intima dell'ossequiata padrona di casa. Naturalmente, *Woomba* è un articolo merceologico immaginario, che nasce per celebrare in modo scherzoso l'efficienza quasi-umana di *Roomba*.

È naturale che il marketing punti ai suoi obbiettivi anche con le armi della seduzione, tipiche della pubblicità, e non stupisce neppure che le aziende, per vendere, facciano appello alle emozioni in tutte le occasioni possibili. Anche in quelle drammatiche. Un esempio? Dopo il terremoto che il 12 maggio 2008 ha colpito il Sichuan (Cina) provocando la morte di oltre 50 mila persone, la giapponese Honda, nel quadro di un'azione umanitaria a favore dei terremotati, ha pensato bene di allietare 5 mila bambini della zona con la compagnia di *Asimo*[20], il celebre umanoide. Quei bambini non avevano mai visto un robot, e giocando con lui hanno certamente avuto occasione di evadere un po' dalla paura. Ma è evidente che il robot abbia fatto parlare dell'azienda in un'occasione disastrosa e, guarda caso, in un contesto di mercato qual è la Cina, ancora vergine per la robotica[21]. Tutto ciò non è etico, e forse un robot più evoluto di *Asimo* non lo approverebbe neppure.

[20] *Asimo* (acronimo di *Advanced Step in Innovative MObility*) è un robot umanoide alto 120 centimetri che nasce nei laboratori della Honda nel 2000 dopo una lunga "gestazione" durata circa 15 anni. Cammina, corre, sale e scende le scale, balla, sta in equilibrio su una gamba sola. Sa praticare anche il calcio, il baseball e il bowling e inoltre è in grado di riconoscere le persone, salutarle, chiamarle per nome e seguire oggetti in movimento.

[21] Si veda l'indagine già citata "*World Robotics* 2008" da cui emerge la scarso rimpiego delle tecnologie robotiche in Cina.

Conversando con Giuseppe O. Longo

I robot: cosa sono, la somiglianza con noi, i loro diritti, il ruolo dell'etica e dell'estetica, la paura, i tabù, il feticcio, i neuroni specchio l'amore, la guerra, gli esperimenti

Abbiamo visto quanti problemi etici pone l'interazione tra l'uomo e i robot dotati di un certo livello di autonomia. Ma allora perché li costruiamo, ne abbiamo davvero bisogno?

Intanto va detto che un robot deve sempre avere un certo grado di autonomia, altrimenti sarebbe una macchina tradizionale. C'è poi da dire che il concetto di bisogno è elastico, vago e indeterminato. In realtà non si ha bisogno di quasi nulla. Quindi l'idea che i robot autonomi siano necessari è discutibile. Certo l'autonomia è utile o necessaria quando sia difficile o addirittura impossibile controllare il robot da lontano. In questo caso è chiaro che il bisogno di autonomia deriva dal fatto che ci siamo imbarcati in una certa impresa. Una qualche autonomia serve per esempio quando il robot esplora un territorio per il quale non sia facile, o sia addirittura impossibile, stabilire una comunicazione continua con l'uomo (si pensi al fondo marino o al suolo di un pianeta lontano). In questo caso, poiché non si possono correggere da lontano gli eventuali errori della macchina, né si possono risolvere i problemi o le difficoltà che essa incontra sul suo cammino, dotarla della capacità di prendere decisioni è utile.

Bisognerebbe però valutare, di volta in volta, i problemi economici, etici e legali che l'autonomia di un robot comporta.

Il robot è una macchina molto particolare, che presenta molti aspetti e che perciò si trova nel punto d'intersezione di molti interessi. Il robot presenta aspetti scientifici, tecnologici, economici, sociali, etici, estetici e così via. Quindi una volta che decidiamo di dotare il robot di un certo grado di autonomia è chiaro che tutti questi problemi, già così intrecciati tra di loro, si complicano. Per fare un esempio semplicissimo, consideriamo una persona che si trovi in una situazione di pericolo e debba essere salvata. È abbastanza evidente che se a questa persona si presenta un robot in grado di prendere decisioni, il rapporto che essa instaura con questa macchina sarà diverso dal rapporto che avrebbe con un veicolo normale, sul quale possa semplicemente salire per poi guidarlo verso la salvezza. Tra la persona e il robot potrebbe stabilirsi una certa collaborazione in vista della riuscita, e magari certe decisioni del robot saranno in contrasto con le decisioni della persona, per esempio perché il

robot elabora una strategia più informata. L'insieme dei rapporti tra noi e il robot autonomo è senza dubbio molto più complesso che non l'insieme dei rapporti tra noi e le macchine tradizionali.

I robot possono avere caratteristiche molto differenti l'uno dall'altro. Ma che cos'è un robot?

La definizione di un certo oggetto o di una certa entità, sia nel campo naturale sia nel campo artificiale, non è mai una definizione precisa e definitiva, soprattutto se l'oggetto è complesso. Non può che essere storica, dunque mutevole nel tempo. Per esempio tra la fine dell'800 e i primi del 900 il fisico Ernest Rutherford diede dell'elettrone una certa definizione. In seguito il fisico Niels Bohr ne diede un'altra, e poi altri fisici ne diedero altre ancora. Sono tutte definizioni diverse l'una dall'altra. È chiaro che l'oggetto elettrone "in sé" rimane sempre lo stesso, ma l'oggetto elettrone "per noi" è cambiato nel tempo. Il significato della parola "elettrone" è cambiato, mentre il significante (che peraltro non possiamo conoscere del tutto) è sempre lo stesso. Quindi possiamo dire che la definizione si modifica di volta in volta grazie alle scoperte che facciamo. E così è per il robot.

Ma nel campo dell'artificiale non facciamo scoperte.

No, ma i dispositivi che costruiamo sono da una parte molto complessi e dall'altra presentano una rapida evoluzione. La definizione di automobile del primi del Novecento è diversa dalla definizione di automobile del 2008. Usiamo la stessa parola per indicare macchine o dispositivi diversi. Inoltre è difficile dare definizioni precise anche dei manufatti, se sono abbastanza complessi. Inoltre su certe definizioni non c'è un consenso generale, specie quando l'oggetto è in rapida evoluzione. Su una macchina semplice e di uso comune, come per esempio la leva, è chiaro che c'è un consenso generale. Un robot invece è qualcosa di complesso e in rapida evoluzione, come d'altronde lo sono anche l'automobile e l'aereo.

Ma come faccio a spiegare che cos'è il robot? Una definizione minima la devo dare.

Giusto. Dopo aver criticato il concetto di definizione, una definizione, sia pur provvisoria e approssimativa bisogna comunque darla. Possiamo allora dire che il robot è una macchina costituita da un corpo artificiale, dotato di organi di senso e di organi di azione, in cui sia impiantata un'intelligenza artificiale. Gli organi di senso del corpo ricevono informazioni dall'ambiente (interno ed esterno) e li inviano all'intelligenza artificiale, che elabora questi

segnali e trasmette comandi che azionano gli organi effettori (per esempio mani e gambe artificiali). Però in questa definizione potrebbero rientrare moltissime macchine, anche il termostato. Ciò che contraddistingue il robot è che esso ha una certa capacità di decisione: le sue azioni non sono sempre obbligate, a volte può compiere una scelta tra alcune strade possibili. È come se il robot fosse dotato di un embrione di libero arbitrio e, in base alle situazioni contingenti, fosse quindi in grado di determinare lui stesso l'azione da intraprendere. Possiamo dire che ha un minimo di libertà. Ma, per tornare al problema della definizione, è chiaro che in futuro, se avremo costruito robot dotati di una grandissima autonomia, potremo dire: "*Questi* sono i robot, non quelle stupide macchine che facevano il montaggio delle automobili in fabbrica, negli anni '80 e '90 e neppure quelle macchine semi-stupide che andavano a disinnescare le bombe o che sparavano ai soldati e non ai civili". In buona sostanza, è l'evoluzione del manufatto, in questo caso del robot, che consente di dare, o costringe a dare, una definizione dinamica, *in fieri*, del manufatto stesso.

Allora i robot controllati dalla mano umana, come quelli impiegati nelle operazioni chirurgiche, non sono robot.

Quando c'è il controllo della mano umana si tratta in sostanza di protesi di trasduzione, non di robot. Il trasduttore è un dispositivo che trasforma i segnali dinamici di un certo tipo in segnali dinamici di un altro tipo. Per esempio, la macchina che trasforma la pressione in un segnale elettrico è un trasduttore e non fa altro che copiare in uno spazio di arrivo un andamento dinamico proveniente da uno spazio di partenza. Se ho un robot chirurgo, io chirurgo in carne ed ossa muovo la mia mano e il robot amplifica o riduce i movimenti della mia mano in maniera micrometrica, ma senza sgarrare da quello che io faccio. Quel robot è un trasduttore. Ma in questo settore i progressi sono continui e non ne so abbastanza per avventurarmici.

L'impiego dei trasduttori comporta problemi etici o legali, in caso di errori della macchina?

Direi di no, perché la responsabilità etica o legale ricade direttamente sull'operatore umano, che controlla la macchina. A meno che il trasduttore non sia impreciso o tarato male, o guasto, nel qual caso la responsabilità potrebbe ricadere, in tutto o in parte, sul costruttore, sul collaudatore o sull'addetto alla manutenzione. Nel caso di un robot chirurgo la questione si complica per le possibili conseguenze degli errori. Se si guasta il contachilometri le conseguenze sono meno gravi che se si guasta un robot chirurgo. Nel secondo caso bisogna

quindi moltiplicare le attenzioni e dosare l'autonomia della macchina in base alle garanzie che ci può dare il suo funzionamento.

Vale a dire che i robot chirurgo potrebbero essere pericolosi?

La ricerca porterà molto probabilmente alla costruzione di robot con una certa autonomia anche in campo chirurgico. A fin di bene, è evidente. Per esempio, di fronte a una situazione imprevista che si palesi durante l'intervento chirurgico, il robot, sulla base di una quantità enorme di dati acquisiti in precedenza e relativi a interventi dello stesso tipo, potrà decidere lui stesso di compiere una certa azione piuttosto che un'altra. Ma in questo caso, la responsabilità di un errore sarebbe della macchina o del costruttore o di chi altri? È una questione su cui si deve discutere già oggi, non domani, quando si presenterà il problema.

In effetti le applicazioni della robotica aprono questioni delicate, soprattutto sul fronte della responsabilità. Ma l'etica della robotica, la "roboetica", è sufficiente a evitare i problemi? Oppure non servirà a molto, perché tanto i giochi li decidono il mercato e i rapporti tra le potenze mondiali?

L'etica è talmente intrecciata con l'economia, con la finanza e con l'avidità, che non può essere isolata dagli effetti "altri" dell'umano e dalla società in cui si vive. Quindi neppure la roboetica può essere considerata come un'entità autonoma rispetto a tutto il resto, se non in linea di principio astratto. Come l'etica umana, nella sua pratica, è stata inquinata e condizionata dall'avidità e dagli interessi, così con ogni probabilità anche la roboetica sarà domani contaminata da interessi di tipo, in ultima analisi, economico. E poi ci sono le sorprese, con cui si deve fare i conti. Chi può dire che i robot quando siano abbastanza autonomi non diventino anche loro aggressivi e vogliano trasgredire le regole della roboetica in base a interessi che non possiamo neppure immaginare? Una volta che siano dotati di un'autonomia abbastanza grande, e ammesso che siano soggetti a una sorta di deriva o di evoluzione, chi può stabilire se la loro evoluzione sia per essere di tipo pacifico?

Allora neppure con la roboetica si evita il peggio?

Il peggio per chi? Per gli uomini? Per i robot? Per il complesso di uomini e robot? Le definizioni andrebbero calibrate e viste nei particolari. Il mercato e il rapporto tra le potenze mondiali sono senza dubbio molto importanti, e sicuramente avranno un'influenza anche sulla roboetica. Noi studiosi lavoriamo in un vuoto pneumatico, facciamo tante belle considerazioni sulla roboetica, sulla filosofia degli automi, eseguiamo esperimenti concettuali

di grande finezza, costruiamo mondi immaginari, simuliamo eventi, foggiamo scenari... Poi introduciamo i prodotti delle nostre elucubrazioni nel vasto mondo, che conosciamo poco e male, e spesso, anche se non sempre, l'esito delle nostre scorribande nella realtà è disastroso. Quindi in primo luogo bisogna usare una buona dose di umiltà e rendersi conto che l'incontro tra la complessità delle nostre costruzioni (mentali o concrete) e la complessità del mondo può avere carattere esplosivo. Quasi nulla va secondo le previsioni. Il meglio che possiamo fare è tentare di essere cauti e precisi.

Forse l'etica ha una scarsa influenza sull'ingiustizia e sugli errori del mondo perché tutto sommato riguarda soltanto gli aspetti privati, individuali.

Ma se adotti un'etica personale non puoi costruire l'etica della società: l'etica personale di ciascuno deve interagire con l'etica personale di tutti gli altri, deve venire a patti con l'etica dell'altro. Solo così il concetto di etica si allarga dall'individuo alla società. Certamente l'etica è personale. Ma siccome noi esseri umani siamo più o meno tutti uguali, perché abbiamo lo stesso tipo di evoluzione, lo stesso tipo di esperienze, lo stesso tipo di fisicità, e via dicendo, allora questo personalismo dell'etica diventa un interpersonalismo, che è quello che ci consente di vivere con gli altri. Siamo in grado di proiettare sugli altri le nostre istanze etiche perché sappiamo che gli altri sono più o meno come noi. Questo passaggio all'etica intersoggettiva consente di mantenere più o meno integra e sana la società. Le leggi in fondo vorrebbero tradurre in prescrizioni quello che è il bisogno di autoconservazione della società e questo bisogno, che è anche un sentimento, è di tipo etico, anzi forse coincide proprio con l'etica.

Ma non abbiamo già le leggi della robotica?

Sì, però stiamo attenti. La roboetica di un tempo coincideva con le leggi di Asimov, e riguardava ciò che i robot dovevano e non dovevano fare nei *nostri* confronti. Oggi la roboetica vuol tener conto anche di ciò che gli uomini possono e non possono fare *ai robot*: il rapporto è diventato bidirezionale. Insomma ci dovranno essere anche delle norme che codifichino i nostri comportamenti nei loro confronti. In definitiva è come se i robot venissero a far parte del nostro ambiente, addirittura del nostro consorzio, e rappresentassero un'entità ulteriore che complessifica la nostra società.

Cioè, i robot entrano a far parte della società e come tali acquisiscono diritti?

Esatto. Oggi siamo molto sensibili a entità “altre”, che un tempo venivano completamente trascurate. Per esempio, si parla di leggi a protezione degli animali e di leggi a protezione dell’ambiente. Abbiamo ormai acquisito l’idea che l’ambiente sia da una parte un sistema complesso, bilanciato, capace di automedicarsi, purché non lo si strapazzi troppo, e dall’altra sia un’entità da tutelare e difendere con le leggi dalle aggressioni (soprattutto dell'uomo). Ebbene, in questo stesso ambiente, di cui facciamo parte noi, gli animali, le piante, i grandi sistemi ecologici e via dicendo, adesso stanno entrando anche i robot, e bisogna tener conto anche di loro.

In fondo anche le donne hanno dovuto lottare per i loro diritti, che hanno acquisito progressivamente soltanto a partire dal ‘700.

Ma è ovvio. Una volta la società era fatta dagli uomini e per gli uomini, e la donna era un’appendice necessaria, ma trascurabile. Ma nel momento in cui ci si rende conto che anche “l’altro”, in questo caso la donna, ha una dignità, è persona, cioè diventa un soggetto etico, allora si deve tenerne conto quando si elaborano le regole della convivenza. È un passo importante nell’evoluzione dell’etica, che, dalla preistoria ad oggi, può essere caratterizzata da un ampliamento continuo dei soggetti etici. Non è che manchino i problemi, le regressioni e le disuguaglianze tra le diverse civiltà e i diversi paesi, ma insomma direi che la tendenza è abbastanza delineata.

Eppure l’“altro” spesso fa paura per la sua diversità. Il timore che le macchine prendano il sopravvento sugli umani è ancora attuale.

La mia impressione è che la paura che noi abbiamo delle macchine sia quasi sempre un fatto spettacolare, cioè confinato negli ambiti della fantascienza, nei romanzi, e soprattutto nei film. Da una parte, dunque, la paura c’è, tra l’inconscio e il conscio, altrimenti non affiorerebbe nella fantascienza. Dall’altra però è evidente che la realtà sociale viene un po’ alleggerita dalla paura, che trova una valvola di sfogo proprio lì, nella fantascienza. La paura della macchina confluisce quindi nell’opera letteraria o filmica, più che nella realtà.

Però nell’immaginario la paura c’è.

Sì. E sappiamo che l’immaginario segna fortemente il reale, ma non possiamo prevedere gli esiti possibili di questa paura. Tanto più che la nostra società ha preso talmente dimestichezza con la scienza e con la tecnologia da non considerarne più gli aspetti negativi, se non in ambiti circoscritti (certi settori delle biotecnologie e della genetica, l'energia atomi-

ca, forse l'inquinamento). Per via della dimestichezza e della disinvoltura nei confronti della scienza e della tecnologia, la società oggi esorcizza o rimuove queste paure, nascondendole sotto l'ottimismo e la fiducia e riversandole però nell'immaginario, nei film. La rimozione, come si sa, esercita un'influenza tanto più forte in quanto è inconsapevole. Da sotto gli strati di razionalità trionfante, tuttavia, la paura esala i suoi vapori velenosi che spesso si cristallizzano in ansia, angoscia e instabilità psichica.

I robot umanoidi o animaloidi sono proprio inquietanti. Perché?

Il nostro rapporto con l'altro è sempre mediato dall'aspetto fisico. E non è vero, come spesso si è portati a credere, che si debba guardare la sostanza e non l'apparenza, perché la sostanza non esiste se non frammentata in una schiera intrecciata di tante apparenze sensoriali: visive, olfattive, uditive, tattili. Quindi il fatto che il robot abbia un aspetto antropomorfo è fondamentale, proprio perché noi siamo abituati a trattare gli esseri umani in prima battuta in base al loro aspetto. È chiaro che trattando con un essere umano noi apprezziamo via via certe caratteristiche che non sono contenute nell'aspetto fisico: la bontà, la sensibilità o all'opposto la malvagità, la freddezza. Però il primo contatto è sempre mediato dall'aspetto fisico. È questo il punto. Noi filtriamo tutto attraverso l'apparenza. Per esempio quando parliamo con una persona la si guarda negli occhi, o per lo meno la si guarda in viso, ed è importante avere un contatto comunicativo di questo tipo. Un robot umanoide è percepito molto diverso da un robot a forma di scatolone. Un robot molto intelligente e abile che però abbia l'aspetto di un frigorifero ci impressiona meno di un robot, magari molto più stupido, che abbia l'aspetto di un essere umano.

Ma per quale ragione?

Perché noi proiettiamo sempre le nostre facoltà (cognitive, affettive e via dicendo), nell'interlocutore che ci somigli, sia pure un robot. Vale a dire che noi siamo disposti a concedere un'anima, un'intelligenza, uno spirito e una coscienza a ciò che ci assomiglia, e in particolare agli altri esseri umani. D'altronde se parliamo con le persone è perché immaginiamo che dentro di loro ci sia qualcosa di simile a noi. Ma di fronte a un frigorifero la mia proiezione, affettiva, cognitiva e via dicendo, è molto scarsa. Il mio canale dell'empatia si apre più facilmente di fronte a un manichino stupidissimo ma bellissimo che di fronte a un robot intelligente a forma di plinto.

Allora è per cercare di non dare un'identità umana ai robot che in Occidente, e in particolare in Europa, si evita la costruzione di robot antropomorfi?

Penso che ci sia una sorta di rispetto e di ritegno nei confronti della figura umana, che nella nostra tradizione occidentale è associata inevitabilmente alla figura di Dio. Quando nella *Genesi* si dice che l'uomo è stato "fatto a immagine e somiglianza di Dio", l'aspetto dell'uomo acquista valenze divine e di conseguenza anche i caratteri di intangibilità e di sacralità. Perciò costruire il Golem, costruire l'artefatto antropomorfo, è sempre una sfida alle potenze superiori, a Dio. C'è questa sorta di esitazione nei confronti dei robot umanoidi perché ci turbano, evocando una sorta di divieto ancestrale. È come se noi volessimo diventare Dio e creare una cosa a nostra immagine e somiglianza sapendo però di essere stati a nostra volta creati da Dio a sua immagine. Anche i non credenti sono influenzati culturalmente da questa visione profonda dell'Occidente. In ultima analisi, alla base di tutto ciò che facciamo, anche in campo scientifico, c'è sempre l'inconscio collettivo. E questa eredità pesa.

È una sorta di tabù?

Ecco, forse la parola "tabù" esprime ciò che tento di dire.

Però negli Stati Uniti stanno entrando sul mercato i robot umanoidi. Per esempio la Hanson Robotics produce macchine che somigliano in tutto e per tutto agli esseri umani. Ma sono di cattivo gusto, sembrano bambole più che robot!

Ecco. Hai individuato la differenza tra l'essenza interiore e l'aspetto esteriore del robot. Se progetto un robot che deve fare determinate cose, che bisogno ho di dagli l'aspetto dello scrittore Philip Dick, come ha fatto David Hanson? È un oggetto che senti come una bambola, come un feticcio, mi verrebbe da dire come il vitello d'oro.

Anche in Canada c'è un prototipo che ha le sembianze di una preadolescente. Si chiama Aiko, ed è pubblicizzato per l'esecuzione di certi compiti, dall'assistenza in casa al controllo dei passeggeri in aeroporto. Proposte commerciali di questo tipo se ne vedranno sempre più spesso?

È plausibile. L'acquirente spesso è abbagliato dall'apparenza e dal luccichio della merce e in questi casi i venditori abili trovano un mercato facile. Ma non senza conseguenze. Il turbamento che suscita un umanoide non può essere evitato. Nasce infatti sempre un dissidio

tra la consapevolezza che si tratta di una macchina, o per lo meno che non si tratta di un essere umano, e l'inganno dei sensi di fronte a un oggetto che sembra umano. È un po' come nelle illusioni ottiche. Tu vedi il bastone spezzato nell'acqua, con la mente sai che non può essere spezzato, ma il tuo occhio lo vede spezzato. Da una parte c'è quanto ti dice la mente, dall'altra quanto ti dicono i sensi, ma la vera conoscenza da dove deriva? Non di certo solo dalla mente, altrimenti escluderemmo dalla scienza il metodo induttivo, la sperimentazione e via dicendo.

Ma per caso, nel turbamento generato da questo dissidio ha una qualche voce in capitolo il nostro sistema di neuroni specchio?

Senza dubbio. I neuroni specchio costituiscono la base fisiologica della comunicazione con l'altro, che avviene sempre attraverso una sorta di anticipazione di quello che l'altro potrebbe dire o fare. Quindi c'è un rispecchiamento continuo tra quello che io dico e faccio e ciò che l'altro dice o fa, lo investo di una proiezione cognitiva, affettiva, e via dicendo, il robot antropomorfo che ho davanti, e agisco *come se* il robot avesse i suoi neuroni specchio che stanno per fare quello che io sto per dire. Il gioco me lo creo io, e quindi, pur non essendoci oggettivamente i neuroni specchio nel robot, è come se i miei riuscissero a surrogare quelli assenti in lui. D'altronde l'empatia è il mettersi nei panni dell'altro: l'altro è come me, io mi specchio in lui e lui si specchia in me. Quindi so benissimo che è una macchina e che non ha i neuroni specchio, ma sono portato inevitabilmente a comportarmi come se li avesse e quindi comunico con lui come comunico con un altro essere umano. Del resto non è ciò che facciamo sempre con i bambini piccoli, con i cani, con i gatti e alcuni anche con le piante? Parliamo con noi stessi, ma ci rivolgiamo all'altro.

Se comunichiamo troppo con i robot, scendendo come dire al loro livello, non rischiamo, alla lunga di perdere un po' della nostra complessità?

In effetti il problema si pone. Da una parte abbiamo le macchine, i cui comportamenti comunicativi sono uniformi e piuttosto semplici, dall'altra abbiamo esseri umani che, al di là delle differenze individuali, sono in genere molto flessibili e posseggono una grande e complessa capacità di comunicazione. Va da sé che nel rapporto uomo macchina quasi sempre è l'uomo che si adatta (si abbassa) spontaneamente al comportamento della macchina. Pertanto è vero che gli esseri umani tendono a uniformarsi alla macchina. Il rischio di uniformità, di risposte sempre uguali, standardizzate, il rischio di perdere sfumature e complessità esiste senz'altro. Tutto sta a vedere se, dopo aver semplificato la nostra comu-

nicazione interagendo con una macchina, siamo capaci di riacquistare la complessità e le sfumature della comunicazione quando torniamo a comunicare con gli umani. Ma se la comunicazione, come sembra, si svolge sempre più tra uomo e macchina, è necessario adeguarsi: chi non si adegua viene tagliato fuori.

Quindi chi non sa o non può adeguarsi alla macchina potrebbe restare indietro nella società. Per esempio un bambino con comportamenti comunicativi poco "meccanizzabili" potrebbe non capire nulla di quanto dice un robot insegnante?

Affidare alle macchine i compiti che tradizionalmente sono affidati agli umani, come per esempio l'insegnamento, presenta da una parte alcuni vantaggi. La macchina, non si stanca, non si annoia se le fai sempre le stesse domande, non si arrabbia. D'altra parte le manca quella flessibilità tipicamente umana, quella capacità di immedesimarsi, dovuta per l'appunto ai neuroni specchio, che gli umani possiedono e che le macchine non hanno ancora. Senza dimenticare inoltre che il problema della sostituzione dell'uomo con la macchina ha molte implicazioni, che riguardano non solo l'efficienza: vi sono risvolti economici, sociali, etici, legali e via dicendo. Nella complessità di questo intreccio di fattori, è difficile valutare a priori il rapporto tra i pro e i contro e quindi non sempre la sostituzione della macchina al posto dell'uomo porta vantaggi. E poi bisogna sempre precisare chi ricava gli eventuali vantaggi.

E se costruissimo robot con un sistema di neuroni specchio?

Non so quanto sia utile o necessario inserire nei robot un sistema di neuroni specchio, perché è l'essere umano che completa il ciclo comunicativo-proiettivo. La mia prima impressione è che noi agiamo nei confronti delle macchine abbastanza complesse "come se" possedessero un sistema di neuroni specchio. Tuttavia, se le macchine avessero strutture analoghe o paragonabili ai neuroni specchio, probabilmente il nostro atteggiamento nei loro confronti sarebbe ancora più simile all'atteggiamento che adottiamo nei confronti degli esseri umani. A un essere umano concediamo sempre molte cose, per esempio che abbia sentimenti, coscienza, capacità cognitive, che usi il linguaggio in modo appropriato, e via dicendo: insomma lo equipariamo a noi. Nei confronti delle macchine l'attribuzione di queste caratteristiche è molto più limitata, anche se non è assente. L'attribuzione è massima, come ho già accennato, quando la macchina, per esempio il robot, ha un aspetto umanoide e un comportamento, per esempio comunicativo, che ricorda quello degli esseri umani. Allora, sulla base di un aspetto antropomorfo o di un solo tratto comportamentale umanoide,

compiamo un’estrapolazione, cioè umanizziamo la macchina anche rispetto ad altri tratti che essa oggettivamente non possiede.

Cosa ci suggerisce allora il sistema dei neuroni specchio?

In definitiva il sistema dei neuroni specchio ci conferma quanto in fondo sapevamo già (basta vedere le considerazioni di Gregory Bateson sul processo comunicativo), cioè che il nostro comportamento - cognitivo, linguistico, affettivo, e così di seguito - non è racchiuso in noi, ma esce da noi per circolare nel contesto ambientale nel quale ci sono anche gli altri individui e infine tornare in noi modificato dall’interazione con gli altri. E aggiungo che è la comunicazione a fare l’essere umano. Dopo tutto, l’io è costruito da una circolazione di messaggi tra io e l’altro, sulla base di un’interazione che ha inizio subito, fin dal primo istante di vita. Se non c’è l’altro l’io non si costituisce, così come noi lo conosciamo. Si trasforma in una monade leibniziana, diventa un’entità autistica e auto-referenziale. Mentre gli esseri umani, come li conosciamo, si sono formati, sia da un punto di vista individuale, sia dal punto di vista di specie, nell’interazione con l’altro. Insomma l'io e un io “sociale”. Di tutto ciò dobbiamo tener conto anche quando costruiamo i robot.

Allora con i robot umanoidi non c’è tutto sommato il rischio di perdere la nostra parte immateriale, l’anima per esempio.

Fino a un certo punto, perché quando siamo di fronte ad un robot, sia pure molto raffinato, capace di avere delle reazioni che noi interpretiamo come reazioni di tipo umano, abbiamo comunque la consapevolezza che si tratta di una macchina. È un pochino come quando hai a che fare con uno straniero. Se parla la tua lingua in modo rudimentale, la tentazione fortissima che hai è quella di parlare anche tu in modo rudimentale. In altre parole abbassi il livello della comunicazione fino al punto in cui ritieni di agevolare la comunicazione con lo straniero. Ciò potrebbe comportare una rinuncia alla complessità variegata delle tue interazioni linguistiche, cognitive e comportamentali, per adattarti al livello di chi ti sta di fronte: lo straniero oppure il robot. Voglio proporre un’analogia, sia pur parziale, che può aiutare a comprendere qualcosa delle interazioni tra enti aventi livelli di competenza molto diversi. Se giochi a scacchi con un bambino di dieci anni e sei molto bravo, mentre il bambino è un principiante, cerchi di adattare il tuo livello di gioco al suo. Sia perché non avresti alcuna soddisfazione a vincere troppo facilmente, sia per dare un minimo di soddisfazione al bambino, che altrimenti perderebbe senza neppure sapere perché e smetterebbe presto di giocare.

A proposito di interazione tra agenti di livello differente, il ricercatore inglese David Levy sostiene che in futuro potremmo avere rapporti sentimentali e sessuali con i robot antropomorfi. Cosa ne pensi?

Credo che sia solo una provocazione, anche se si presta a considerazioni interessanti. Il robot non sarebbe altro che un'evoluzione dei classici vibratori per signore o delle bambole per signori o di altri oggetti surrogati del corpo umano (o di parti del corpo umano) presenti sul mercato. Non ti puoi aspettare da una macchina in grado di offrirti delle prestazioni sessuali la stessa ampiezza di relazioni che avresti con un essere umano. In fondo il sesso è un grande canale di comunicazione, quindi possiamo ripetere per il sesso tutto ciò che abbiamo detto per la comunicazione. E poi c'è sempre la consapevolezza di avere tra le mani una macchina, e quindi un qualcosa di estremamente limitato dal punto di vista affettivo. Insomma si priviligerebbe l'efficienza parziale rispetto alla globalità comunicativa.

Ma per alcuni potrebbe essere vantaggioso avere una relazione con una macchina piuttosto che con un amante troppo esigente.

Certo: è l'aspetto strumentale ed efficientistico. È evidente che la macchina non verrà mai a dirti "mi sono innamorato di te, ti voglio sposare, voglio dei figli da te, devi lasciare la tua famiglia" e cose del genere. È un po' come nella prostituzione, che non per nulla è una forma di interazione sociale molto diffusa perché non crea problemi, almeno da quel punto di vista. Il cliente richiede una prestazione sessuale, la paga, e con questo si ritiene in diritto di ignorare di essere davanti a un essere umano. Considerando l'altro un oggetto di piacere, limita l'interazione a un solo aspetto, svilendola. In un rapporto mercenario si limita enormemente il rapporto umano, riducendolo a qualche cosa di molto specifico. Non nego che ad alcuni, anzi a molti, ciò faccia molto comodo. E fa comodo anche alla società, che bene o male incanala le insopprimibili pulsioni sessuali in un alveo più o meno controllato. Ma qui il discorso si farebbe troppo complesso e spinoso.

Questi robot potrebbero servire per ridimensionare il drammatico e complesso fenomeno della prostituzione?

In qualche modo, sì. Perché è ovvio che chiedere a un essere umano una prestazione sessuale a pagamento significa comunque instaurare anche un rapporto umano, sia pur minimo. Nel caso del robot il rapporto sarebbe invece soltanto di tipo sessuale. Ma attenzione, ogni tentativo di riduzione della complessità a un aspetto monofunzionale crea problemi.

Nel caso del robot umanoide, la proiezione affettiva di cui ho parlato sopra potrebbe giocare qualche brutto scherzo al cliente: così come ci sono uomini che, al di là di ogni loro intenzione riduzionistica, s'innamorano di una prostituta, così un domani si potrebbero innamorare di un robot.

Dall'amore surrogato passiamo alla guerra. Il robotico statunitense Ronald Arkin sostiene che sul campo di battaglia i robot potrebbero rivelarsi più umani dei soldati, e che grazie alle macchine si potrebbero evitare errori e aberrazioni. L'idea è stravagante, ma visto che abolire la guerra pare sia impossibile …

In effetti la spinta verso la guerra, come quella verso il sesso, sembra essere una caratteristica inestirpabile della specie umana, che è nata e si è evoluta nel segno della violenza. Leggende come quella di Caino e Abele non sono arbitrarie, sono inscritte nella nostra struttura, aggressiva e crudele. Pertanto la guerra è una condizione molto naturale per gli umani e la storia lo insegna. Detto questo, trasferire la guerra dagli esseri umani alle macchine potrebbe essere una buona soluzione: sarebbe una valvola di sfogo abbastanza innocua della violenza e avrebbe conseguenze meno traumatiche. A patto però che la guerra se la facciano i robot, tra di loro, senza causare perdite di vite umane, e poi chi vince vince. La vittoria in questo caso sarebbe frutto di una delega tecnologica ai robot. Ma bisogna vedere se questo tipo di vittoria sarebbe accettata dalla nazione perdente, la quale forse potrebbe tentare per ritorsione di scatenare una guerra tradizionale, combattuta dagli esseri umani. Credo che sia difficile, almeno a breve, mantenere la guerra nell'ambito circoscritto delle macchine belliche. Certo, i robot non si lascerebbero trasportare dall'odio e non si dedicherebbero a pratiche... disumane, come quella della tortura. Perché i robot sono asettici, non provano sentimenti, ammesso che non vengano dotati di sentimenti di odio. Se poi volessimo costruire il robot affettivo, non sappiamo bene cosa ne verrebbe fuori e può darsi pure che ne scaturirebbe un robot con sentimenti molto umani, dunque capace di fare la guerra come e peggio di noi. Ma qui si entra nella fantascienza.

I robot sono utilizzati anche per la ricerca nelle scienze cognitive. Cub e Cb2, programmati per crescere, sono stati costruiti per studiare i processi di apprendimento infantile. Ma com'è possibile che un robot ci aiuti a comprendere la complessità umana?

Dalla comparsa della nostra specie ad oggi, bene o male abbiamo sempre allevato i nostri figli, insegnando loro a vivere in questo mondo, e potremmo continuare a farlo ancora sen-

za il “robot bambino”. Ma oggi si vuole oggettivare tutto, razionalizzare tutto. Il discorso che si fa è probabilmente questo: finora abbiamo allevato i figli in modo intuitivo, adesso li educheremo in maniera razionale. Non c’è però alcuna garanzia che questa impostazione dia dei risultati migliori, in qualche senso ragionevole del termine. Tant’è che anche le impostazioni razionali della scuola, o dell’assistenza sociale, molto spesso hanno dato risultati disastrosi. La strada indicata da queste ricerche costituisce un tentativo di razionalizzare il processo educativo fino a renderlo qualche cosa di asettico, misurabile, standardizzato, uguale per tutti. Fatta questa premessa ci sono due considerazione da fare. Innanzitutto direi che il vantaggio di avere un robot bambino è che su questo robot si possono compiere sperimentazioni non ammissibili su un bambino vero. È come il robot che sostituisce il paziente nelle scuole di medicina: su di esso si possono fare cose che non è lecito fare sugli esseri umani. Si tratta dunque di un banco di prova per certe teorie, che essendo anche in parte sperimentali, possono essere esercitate sui robot *Cb2* e *Cub*, prima di applicarle ai bambini.

E la seconda considerazione?

È di carattere più profondo. L’intelligenza artificiale funzionalista, che è un'imitazione astratta e abbastanza discutibile dell’intelligenza umana, ci ha comunque consentito di capire qualche cosa della nostra intelligenza. Se non altro, ci ha fatto capire che esistono delle intelligenze “altre”, rispetto alla nostra. E quindi ha tolto all’intelligenza umana quella sorta di monopolio che si era perpetuato dall’antichità fino a oggi. È come quando impari una lingua straniera: ti rendi conto che la tua non è l’unica lingua possibile, e questa consapevolezza ti apre un orizzonte sconfinato. Non solo. Quando ritorni alla tua lingua, per confronto e differenza, capisci quanto sia particolare, interessante, capace o incapace di esprimere. Allo stesso modo, dal confronto tra l’intelligenza artificiale e la nostra abbiamo ricavato qualche indicazione interessante sulla nostra intelligenza, oltre che sull’intelligenza artificiale che abbiamo costruito. Anche se non siamo in grado di dominare perfettamente le cose che costruiamo, certamente dal confronto riusciamo a percepire qualcosa. Tutto ciò vale anche nell’ambito della robotica. Quello che noi riusciamo a percepire nei robot bambino ci può essere utile, per analogia e per differenza, per capire quello che succede nei bambini veri.

Però, anche se in questo caso si tratta di macchine in grado di apprendere, la programmazione è sempre umana ed è fatta in base a quanto è noto del bambino. Com'è possibile che questi robot ci facciano capire più di quanto già sappiamo?

In realtà quando la complessità dei nostri manufatti supera una certa soglia, il comportamento del manufatto trascende in qualche misura la nostra programmazione, e può riservarci qualche sorpresa. Per esempio il computer e Internet sono una fonte continua di sorprese, anche se li abbiamo costruiti noi. E anche questo "noi" è un po' da definire. È un "noi" che in ultima analisi rimanda a una serie di progettazioni, interazioni, idee e sperimentazioni, e via dicendo, che non si possono ricondurre a un unico soggetto, ben identificabile. Prendiamo un aereo di linea. È stato costruito dagli esseri umani, è evidente. Però agli occhi di un passeggero generico il suo comportamento è assolutamente misterioso. Così è per i ricercatori. Non è detto che sappiano tutto del comportamento dei robot che loro stessi hanno progettato. Per questo fanno esperimenti, simulazioni e cambiano le condizioni al contorno per far accadere qualche cosa e magari accade qualcosa di imprevisto. D'altronde, se non fosse così, neppure la sperimentazione in fisica elementare avrebbe senso. Anche Galileo usava il piano inclinato per farci rotolare sopra una sfera e per vedere che cosa accadeva. Il piano inclinato l'aveva costruito lui, ma non per questo era in grado di prevedere tutto, tant'è che dal comportamento osservato della sfera ricavava una serie di indicazioni, che gli consentivano di formulare una teoria, o un modello, che andava poi verificato. La stessa cosa accade con i robot, naturalmente a un livello di complessità molto più grande.

Capitolo 4
Loro, tra di noi

Today, progress in the field of computer science and telecommunication allows us to endow machines with enough intelligence that they can act autonomously. Thus, we can forecast that in the 21st century humanity will coexist with the first «alien» intelligence we have ever come into contact with – robots.

Fiorella Operto e Gianmarco Veruggio,

Roboethics: Social and Ethical Implications of Robotics.

«L'umanità ha costruito strumenti per aumentare il proprio potere eliminando il lavoro manuale e noioso. Questa tendenza si è trasformata in una delle chiavi di successo del progresso economico, in particolare dalla rivoluzione industriale, con l'emergere dell'economia meccanizzata, e ancor più con l'introduzione delle macchine automatiche nel XX secolo»[1]. È quanto scrivono Fiorella Operto e Gianmarco Veruggio nel dare una spiegazione storica alla attitudine tipicamente umana di costruire macchine che ci sostituiscano, a cui si affianca sempre il grande sogno di replicare se stessi[2].

[1] Operto e Veruggio, *Roboethics: Social and Ethical Implications of Robotics,* in *Handbook of Robotics, 2008*). Gli autori fanno riferimento bibliografico al libro dello storico David S. Landes, "*The Unbound Promoteus: technological Change And Industrial Development in Western Europe form 1750 to Present*", Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2003 op.cit. La traduzione è di chi scrive.

[2] La bibliografia su questo tema è molto vasta e riguarda il mito di Prometeo, quello del Golem, la letteratura (come *Frankenstein* di Mary Shelley e "*R.U.R.*" di Karel Čapek in cui viene introdotta la parola "robot") e le storie di fantascienza di Isaac Asimov. Per chi voglia approfondire il tema degli automi sono interessanti due libri di Mario G. Losano, "*Automi d'Oriente. Ingegnosi meccanismi arabi del XIII secolo*", Medusa, Milano, 2003 e "*Storie di automi dalla Grecia classica alla bella époque*", Einaudi,Torino, 1990.

1. Rifare l'umano: perché?

Nella tradizione giudaico-cristiana, che condiziona la cultura occidentale anche laica, il desiderio di costruire macchine che ci somiglino e che svolgano le attività faticose al nostro posto rimanda al tentativo da parte dell'uomo di sostituirsi a Dio nell'azione creativa. Potrebbe sembrare un atto di presunzione, se quel sogno non facesse parte della nostra stessa natura[3]. In fondo l'obiettivo principale è quello di liberarsi dalla schiavitù del lavoro difficile, pericoloso e ripetitivo, delegandolo a un qualcosa, costruito da noi, che abbia funzioni umane. Già nell'antichità il filosofo greco Aristotele[4] aveva considerato i vantaggi delle copie artificiali dell'uomo, che avrebbero portato beneficio all'umanità, *in primis* con la scomparsa della schiavitù.

Progettare, costruire e usare macchine intelligenti e autonome però non è una faccenda da niente, perché implica conseguenze di varia natura. «Molti considerano i robot nient'altro che semplici macchine: molto sofisticate e utili, ma pur sempre macchine. In linea con questo punto di vista, i robot non ricoprono ruoli gerarchicamente molto elevati, né il progettista li ha dotati di qualità umane o animali. In questo contesto, le questioni delle implicazioni sociali ed etiche della robotica ricadono nelle categorie dell'applicazione dell'etica all'ingegneria[5]». Del resto, i robot non sono affatto semplici macchine, visto che hanno una dimensione propria e per nulla sussidiaria. Come scrive il teologo José Maria Galván[6], «la tecnologia non è un complemento umano, ma è uno dei modi in cui l'uomo si distingue dagli animali. Due esempi illustrano bene questo dato di fatto: il mito di Prometeo, da cui emerge che gli animali sono dotati di strumenti per sopravvivere, ma gli uomini ne sono privi e, avendone la capacità, sono costretti a produrre da soli gli strumenti artificiali di cui hanno bisogno; la *Genesi*, dove Adamo, destinato a occuparsi delle piante del giardino dell'Eden, vi lavorava incessantemente per raccoglierne i frutti e per migliorarlo. In entrambi i casi si sottolinea una "condizione incompiuta dell'umanità" che impone all'uomo di interagire con l'ambiente naturale al fine di produrre tecnologia: *homo technicus.*».

---

[3] José Maria Galván, *On technoethics*", pubblicato in «IEEE-RAS Magazine» 10 (2003/4) 58-63.

[4] Aristotele, "*La politica*", Le Monnier, Firenze, 1981.

[5] Operto e Veruggio, op cit.

[6] José Maria Galván, "*On technoethics*", op. cit. (la traduzione dall'inglese è di chi scrive); Galván è professore di Teologia Morale alla Pontificia Università della Santa Croce e collabora da molti anni con il Laboratorio ARTS (*Advanced Robotics Technology and System*) della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, dove si occupa delle implicazioni antropologiche della ricerca sulla robotica e sulla tecnologia.

2. Ci vuole una regola

Poiché oggi le nuove tecnologie si affermano molto velocemente, senza dare tempo all'umanità di riflettere e argomentare intorno alle loro conseguenze, Galván, teme che la rivoluzione robotica porti, come d'altronde tutte le altre utopie tecnologiche, a una sorta di meccanizzazione della coscienza[7]. Per scongiurare questo pericolo il filosofo propone di darsi due compiti etici importanti: «porre le basi di una tecnologia robotica centrata sull'uomo, capace di una vera condivisione universale dei benefici che può portare all'umanità; evitare che queste basi cadano nelle mani di pochi»[8].

Oggi, l'idea che i robot non debbano essere considerati come semplici macchine comincia a essere condivisa non solo dagli umanisti che studiano le numerose implicazioni etiche, sociali ed epistemologiche della scienza e della tecnologia, ma anche dalla comunità scientifica. E così, l'etica della robotica, o "roboetica", entra a far parte integrante della ricerca e dello sviluppo nei paesi che più investono in tecnologie robotiche[9]. Non è un caso, infatti, che la società mondiale di robotica, la IEEE *Robotics and Automation Society*, abbia fatto propria la *Roboethic Roadmap*[10], una tabella di marcia che pone all'attenzione della comunità scientifica le principali questioni etiche inerenti la progettazione, la costruzione e l'impiego dei robot. E del resto anche in Europa non c'è progetto di ricerca robotica che non tenga conto delle questioni etiche e sociali, e molti umanisti sono chiamati a lavorare insieme a ingegneri e scienziati per individuare i problemi emergenti e tentare di risolverli[11]. La stessa cosa avviene negli Stati Uniti, anche se con un'evidenza minore e un'attenzione rivolta più alle questioni pratiche (alla prestigiosa università di Stanford, in

---

[7] Si veda: Josè M Galván, "*La robotica come speranza: la tecno-etica*". In: "La sfida del post-umano", a cura di Ignazio Sanna, Ed. Studium, Roma, 2005.

[8] José. M. Galvan dagli atti del convegno ICRA07 IEEE, Conferenza mondiale di robotica e automazione, Workshop sulla roboetica, 14 aprile 2007.

[9] Secondo l'indagine "*World Robotics* 2008", citato nel capitolo precedente, i paesi che più impiegano la tecnologia robotica sono il Giappone, la Germania, la Repubblica della Corea, Italia e gli Stati Uniti e la Svezia

[10] La *Roboethics Map* è stata presentata a marzo 2006 a Sanremo (Italia) nell'ambito dell'*Atelier* del network europeo di ricerca robotica *EURON* (*European Robotics Research Network*). Si tratta di un documento, sostenuto e divulgato da Fiorella Operto e Gianmarco Veruggio della Scuola di Robotica di Genova, che indica quali possono essere le possibili implicazioni etiche e sociali della robotica, delineando i possibili percorsi di ricerca da intraprendere. Il documento, aperto a modifiche e aggiornamenti al passo con la ricerca, pone un'attenzione particolare alle carte internazionali dei diritti umani. Il testo si può scaricare da Internet: http://www.roboethics.org/site/modules/mydownloads/download/ROBOETHICS%20ROADMAP%20Rel2.1.1.pdf

[11] Si veda: Luciano Floridi e J.W. Sanders, "*On the morality of Artificial Agent, Information, Ethics Groups*", (*University of Oxford*). L'articolo si può scaricare da Internet: http://www.comlab.ox.ac.uk/activities/ieg/publications/articles/omaa.pdf

California, si studiano anche gli aspetti giuridici della robotica). Finanche la difesa americana, come vedremo, tiene conto dell'etica.

3. Roboetica: utopia o scommessa?

La non pericolosità dei robot, come abbiamo già visto, è garantita in linea di massima dalle tre leggi della robotica, elaborate per la prima volta dallo scienziato e scrittore di fantascienza Isaac Asimov nel suo racconto del 1942, "*Runaround*". Sono ancora rispettate dai progettisti di robot, e vale quindi la pena di ricordarle:

1. Un robot non può recar danno a un essere umano né può permettere che, a causa di un suo mancato intervento, un essere umano riceva danno;
2. Un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non contravvengano alla Prima Legge;
3. Un robot deve proteggere la propria esistenza, purché la sua autodifesa non contrasti con la Prima o con la Seconda Legge.

Sappiamo bene che queste leggi però da sole non bastano a garantire la sicurezza delle macchine. «In realtà, - scrive Giuseppe O. Longo - se le regole di Asimov fossero calate nel mondo reale non mancherebbero di suscitare problemi e ambiguità. Che cosa vuol dire danno? Chi ne è responsabile? E chi lo stabilisce, chi lo quantifica? Il concetto di danno sembra legato al concetto di male (non solo fisico) e sul problema del male si sono arrovellate generazioni di filosofi, teologi, letterati e artisti. Il cervello positronico, razionale e rigoroso, saprebbe impostare e risolvere le "equazioni del male" grazie a un'edizione aggiornata del *calculemus* leibiniziano? C'è da dubitarne. In effetti la nozione di danno che compare nelle Leggi, presenta molte ambiguità: se un umano sta recando danno a un altro essere umano (per esempio sta tentando di ucciderlo), come si deve comportare il robot? Se interviene reca danno all'assassino, ma il suo mancato intervento reca danno alla vittima»[12].

Questi sono alcuni dei problemi e delle incongruenze richiamati da Longo e inerenti alle tre leggi della robotica. Asimov, in fin dei conti, ne era consapevole, tanto che a un certo punto aggiunse una quarta legge, la Legge Zero: "Un robot non può recar danno

[12] Giuseppe O. Longo, "*L'etica la tempo dei robot*", op. cit.

all'umanità e non può permettere che, a causa di un suo mancato intervento, l'umanità riceva danno". Ma anche questa, non basta a proteggerci dai pericoli[13].

Oggi però le cose sono cambiate. Il discorso sulle conseguenze derivanti dall'esistenza dei robot si è spostato dalle macchine alla società (che sempre più è fatta anche di robot) e in particolare si è spostato sull'interazione tra i robot e gli umani in un ambiente comune a entrambi. Le questioni principali, molto dibattute, riguardano tutto ciò che avviene, si sviluppa e si trasforma in una società complessa. Per esempio: l'uso massiccio dei robot industriali di servizio aumenterà la disoccupazione tra gli operai specializzati? I robot possono registrare dati personali e sensibili? Come tutelare il diritto alla privatezza, soprattutto negli ospedali, dove queste macchine si prenderanno presto cura degli ammalati?[14] E ancora: visto che i robot dividono con noi lo stesso ambiente, quali devono essere i loro diritti?

Ecco quali sono in linea di massima le grandi questioni che robotici, sistemisti, ingegneri, cibernetici, scienziati e umanisti dibattono da qualche anno, proponendo l'adozione di codici etici da applicare alla progettazione, alla costruzione e all'uso dei robot:

- il doppio uso (buono o cattivo) che si può fare della tecnologia robotica;
- l'attribuzione di caratteristiche umane ai robot (antropomorfi o no);
- l'umanizzazione della relazione uomo-macchina;
- la dipendenza dalla tecnologia;
- l'esclusione sociale dei poveri e di chi non sa usare la tecnologia dai benefici che essa porta;
- l'accesso equo alle risorse tecnologiche;
- gli effetti della tecnologia sulla distribuzione della ricchezza e del potere;
- l'impatto ambientale della tecnologia.[15]

Sono già molti i centri di ricerca sulle tecnologie robotiche che si stanno dotando di codici etici. E ciò accade soprattutto negli ambiti in cui più si temono le conseguenze negative della tecnologia: il campo medico (la biorobotica) e il settore militare (la robotica militare). Vediamo ora quali sono i problemi più urgenti su cui gli esperti richiamano l'attenzione.

---

[13] Giupeppe O. Longo, op. cit

[14] Questa domanda è stata sollevata da Alicia Casals, ricercatore della *Universitat Politècnica de Catalunya* (Spagna) nel corso del workshop sulla roboetica che si è tenuto in aprile 2007 a Roma al convegno mondiale di robotica UBIQUITOUS ROBOTICS, IEEE Icra 2007.

[15] Operto e Veruggio, in *Handbook of Robotics*, op. cit.

4. Il dottore è teleguidato

La biorobotica, per dirla con le parole di Paolo Dario, «è una nuova area scientifico-tecnologica della progettazione e della realizzazione di sistemi di robotica di ispirazione biologica e di applicazione biomedica.»[16]. Rientrano nella categoria della biorobotica sia i sistemi robotici in campo medico, destinati alla diagnosi, all'intervento chirurgico e alla terapia (robot chirurghi, robot terapisti, robot infermieri, ecc.), sia i sistemi bionici, come gli arti artificiali e le interfacce cervello-macchina[17]. Questi strumenti robotici in campo medico servono principalmente a migliorare la destrezza e la precisione di chirurghi e terapisti. E infatti, come abbiamo visto, il robot *Da Vinci* per la chirurgia prostatica, per esempio, è molto più preciso e meno invasivo di un chirurgo e di altre tecniche impiegate per questo tipo di operazione.

La tecnologia biorobotica consente anche di sviluppare protesi degli arti sempre più simili agli arti veri e più accettabili da chi li "indossa". Oggi i mutilati non possono percepire la protesi come se si trattasse di un arto vero, perché non è collegata al sistema nervoso centrale. Ma un domani tutto questo sarà realtà. «Grazie alla mano CyberHand sarà possibile sviluppare un nuovo tipo di protesi per la mano, capace di ricreare il naturale legame esistente tra la mano e il sistema nervoso centrale sfruttando le possibilità offerte dalle interfacce impiantate nel sistema nervoso periferico»[18].

5. BioRobotica umanitaria

Tornando alla chirurgia robotica, oggi è talmente sviluppata che a breve potremmo contare su robot in grado di intervenire con precisione anche sul feto umano e addirittura

[16] Paolo Dario è Direttore del Polo Sant'Anna Valdera di Pontedera e docente di Bioingegneria Industriale alla Scuola Superiore Sant'Anna. La citazione si riferisce a: Paolo Dario, *Biorobotica e biomeccatronica*, in AA.VV., *Treccani. Il libro dell'anno 2006*, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma, 2006, pg. 227.

[17] Le interfacce cervello-macchina (in inglese BCI, *brain-computer interface*), frutto anch'esse della tecnologia biorobotica, collegano l'attività cerebrale con gli algoritmi di calcolo di un computer, e in genere sono progettati per ripristinare funzioni motorie e sensoriali perdute.

[18] Pericle Salvini, Cecilia Laschi, Paolo Dario, *Roboetica e biorobotica: discussione di alcuni casi di studio*, in Aa.Vv. , "*Ethicbots. Etica e robotica*, fascicolo monografico della rivista filosofica THEORIA , XXVII/2007/2, Edizioni ETS, Pisa, 2007). La mano *CyberHand* (http://www.cyberhand.org/) è stata sviluppata dal 2002 al 2005 nell'ambito del progetto europeo *IST-FET CYBERNARD*.

sulle cellule[19], rendendo possibili interventi di microchirurgia e nanochirurgia, oggi difficilissimi se non impossibili.

Ma chi potrà permettersi le cure garantite dallo sviluppo della tecnologia biorobotica? Soltanto i paesi ricchi, quelli che investono nella sanità pubblica. Ed ecco dunque che una tecnologia che dovrebbe favorire tutti pone subito questioni di giustizia sociale. «Sebbene questi dispositivi siano progettati per migliorare la qualità della vita delle persone in generale, spesso abbiamo dovuto prendere atto di come, in realtà, i veri beneficiari siano soltanto una piccola parte, cioè coloro che abitano il cosiddetto mondo sviluppato»[20]. Ma il problema dell'iniquità sociale è soltanto uno dei tanti aperti dalla biorobotica, con i suoi settori di ricerca che vanno dalla costruzione di cervelli biologici per i robot alla progettazione di impianti per potenziare le capacità intellettive, mnemoniche e fisiche delle persone normali e di cui si parla in seguito.

Rendere la biorobotica il più possibile compatibile con i valori umani condivisi, favorendo l'umanità nel complesso è in qualche modo possibile. Il laboratorio ARTS (*Advanced Robotics Technology and System*) della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, per esempio, si è impegnato a rispettare un codice etico molto rigoroso, gremito di divieti e di proponimenti. Per cominciare, niente robotica militare, nessuna autonomia totale alle macchine, no secco ai sistemi di potenziamento delle capacità umane, niente bugie o esagerazioni quando si comunica con il pubblico e con la stampa, bando alla costruzione di robot umanoidi, ammessi soltanto per studiare i modelli umani, nessuna operazione chirurgica attraverso impianti corticali. E visto che anche con le restrizioni etiche i problemi nascono ugualmente, il laboratorio di Pisa si è anche impegnato a svolgere una ricerca scientifica che favorisca l'umanità e in particolare i più deboli.

6. Nati per uccidere

A giudicare dall'impegno etico dei ricercatori di Pisa ci si illude che la scienza e la tecnologia possano un giorno essere messe al servizio dell'umanità. Se non fosse per quella perversa attitudine umana a farsi reciprocamente del male. Sicché, negli Stati Uniti, ingegneri, sistemisti, robotici e scienziati sono impegnati a progettare sistemi robotici e bionici da utilizzare in guerra. Obiettivo: vincere i conflitti in tempi brevi facendo meno morti

[19] È tra gli obiettivi del progetto europeo coordinato dalla Scuola Superiore Sant'Anna, *NINIVE* (*Non Invasive Nanotrasducer for In Vivo gene thErapy*). Sito Internet: http://www.ninive-project.org/

[20] Pericle Salvini, Cecilia Laschi, Paolo Dario, in op. cit.

possibili tra i propri soldati e tra i civili dei paesi nemici. A occuparsi di questo programma è la *Darpa*, l'agenzia della difesa statunitense che si occupa dei progetti di ricerca avanzati, di cui abbiamo già parlato. Allo studio c'è un nuovo sistema di combattimento ad alta tecnologia, che si basa sulla messa in rete, tramite un sistema di comunicazione senza fili, di tutti mezzi di combattimento: quelli tradizionali, i sistemi robotici a differenti livelli di autonomia, i veicoli, i sensori (usati come spie) e i droni (che sono robot non del tutto autonomi controllabili a distanza). Queste armi saranno in grado di trasmettere alle strutture di comando e controllo ogni genere di informazione possibile, tra cui foto, filmati e suoni. La nuova guerra tecnologica prende il nome di "Sistemi di combattimento del futuro" (in inglese: *Future Combat Systems*). In che cosa consiste? Per rendere l'idea l'ufficio di comunicazione dell'esercito americano parla di tre scenari possibili[21]:

1. *Ricerca di esplosivi*. I soldati mandano un piccolo veicolo terrestre senza pilota (un robot) alla ricerca di bombe in un edificio. Il veicolo, grazie a un sistema di sensori, individua eventuali minacce di tipo nucleare, biologo e chimico, le trasmette a distanza ai soldati, che a loro volta le inviano con una rete *wireless* al proprio comando.
2. *Sorveglianza di interni*. I soldati dopo aver ispezionato gli edifici nemici vi lasciano dei piccoli sensori di terra. Questi fanno da retroguardia (è lo stesso lavoro dei soldati di guardia), intercettando eventuali dispositivi e movimenti sospetti, registrando immagini e suoni e inviandoli in remoto in tempo reale al comando.
3. *Sorveglianza di un perimetro*. I sensori di terra nascosti all'interno del perimetro osservano e intercettano ogni movimento nemico e inviano registrazioni video in tempo reale al comando. In caso di intercettazione di un nemico, il comando ordina ai soldati di inviare un aereo senza pilota, per localizzarlo e seguirne i movimenti.

La guerra del futuro potrà inoltre contare su nuove armi, oltre a quelle tradizionali. Ci saranno i robot veicoli senza pilota in grado di agire anche in totale autonomia: elicotteri, aerei *UAV* (*Unmanned Air Vehicle*) e droni da ricognizione, sminatori, perlustratori di terra su ruote o su cingoli in grado di penetrare in qualsiasi cavità. Ci saranno anche i mezzi d'attacco intelligenti, come i missili *Cruise* ancora più evoluti che sanno seguire e colpire un bersaglio in movimento anche quando cambia bruscamente direzione. Oltre a queste nuove armi, tutte in grado di registrare qualsiasi informazione e di inviarla al comando in tempo reale, ci saranno le nuove dotazioni dei soldati: impianti bionici, come lo zaino mi-

[21] Le informazioni riportate provengono dal programma di difesa americano "*Future Combat Systems*", che ha un ufficio di comunicazione molto efficiente e un sito Internet ricco di informazioni, che, per motivi di sicurezza, tiene però traccia di chiunque vi si colleghi (https://www.fcs.army.mil).

litare *Bleex*, caschi per vedere nel buio e telerilevatori collegati al satellite per lasciare traccia dei propri movimenti.

Naturalmente la guerra di domani presenta una serie di problemi etici che comprendono l'equità nei combattimenti contro i paesi non tecnologizzati e la precisione delle nuove armi (che potrebbero per errore colpire la popolazione civile inerme). Ci si chiede anche se, in termini di rapporto costi/benefici, valga davvero la pena di utilizzare i costosissimi sistemi robotici in campo di battaglia e se i robot possano sostituire i soldati umani, per cancellare una volta per tutte l'aberrazione dei crimini di guerra (i robot in questo caso sarebbero paradossalmente più etici degli umani). Per esempio, le torture inflitte deliberatamente dai militari statunitensi ai prigionieri iracheni nel carcere di Abu Ghraib, durante la guerra in Iraq nel 2003, come anche il massacro di 24 civili tra cui donne e bambini avvenuto due anni dopo a Haditha, sempre in Iraq, poteva essere evitato se al posto dei soldati ad agire ci fossero stati i robot autonomi. Parola di Ronald Arkin, il noto robotico e "roboeticista" esperto di guerra, professore al *Georgia Institute of Technology*, negli Stati Uniti

Per rispondere alle domande aperte dalla robotica militare, la difesa americana ha commissionato una ricerca proprio a Ronald Arkin. Le sue opinioni sono contenute in un documento denso di 117 pagine: "*Governing Lethal Behavior: Embedding Ethics in a Hybrid Deliberative/Reactive Robot Architecture*". ("Controllo del comportamento bellico: inserimento dell'etica nell'architettura dei robot ibridi reattivi/deliberativi").

Ed ecco come il professore tira le somme dopo una lunga disamina della questione: «Il primo obiettivo resta quello di applicare in modo credibile le leggi internazionali di guerra nel campo di battaglia, creando una classe di robot che non solo si conformi alle leggi internazionali, ma sia anche superiore ai soldati umani per la capacità di esprimere valori etici (…) Spero che l'impiego dei robot soldato non sia necessario né oggi né in futuro. Ma l'inclinazione del genere umano verso la guerra sembra evidente e inevitabile. Del resto, se anche solo riuscissimo a ridurre il numero delle vittime civili, in accordo con quanto le convenzioni di Ginevra hanno promosso e le tradizioni di guerra sottoscrivono, il risultato sarebbe pur sempre un risultato umanitario, anche se ci si troverebbe sempre di fronte ad una guerra.» [22]

[22] Ronald C. Arkin, "*Governing Lethal Behavior: Embedding Ethics in a Hybrid Deliberative/Reactive Robot Architecture*". Il documento si può scaricare alla pagina web : http://www.cc.gatech.edu/ai/robot-lab/online-publications/formalizationv35.pdf . Arkin è professore al *College of Computing* del *Georgia Institute of Technology*, dove dirige il *Mobile Robot Laboratory*.

7. Noi ciborg, siamo esseri umani

Quando il robot fosse *dentro* di noi sotto forma di protesi interna o esterna al corpo quali potrebbero essere le conseguenze sotto il profilo individuale e sociale? Due sono le questioni che saltano subito all'occhio. La prima riguarda l'identità personale e la seconda i "superpoteri" del ciborg.

Cominciamo dalla prima questione: un essere umano con un impianto bionico è anche un po' una macchina? In realtà, anche se suggestiva, la questione non ha un grande rilievo, perché l'unica risposta sensata da dare a una domanda del genere è che allo stato attuale un ciborg è semplicemente un essere umano dotato di uno o più impianti bionici. Come, del resto, un uomo con un dispositivo che gli stimola elettricamente il muscolo cardiaco, è un essere umano con un *pacemaker*. O quest'uomo ha per caso anche le caratteristiche di una macchina ? Forse, sì. Ma in ogni caso è prima di tutto e in prevalenza un essere umano.

Il problema dell'identità ibrida del ciborg si presenterà semmai in futuro, quando si arriverà a costruire cervelli biologici coltivati in vitro in grado di guidare in modo efficiente i robot, al posto dei computer. È quanto si sta tentando di fare, già con qualche risultato, all'università di Reading, in Inghilterra, sotto la guida dello scienziato Kevin Warwick. Come ci si è arrivati? «Sono stati coltivati dei neuroni per farli crescere e interagire con un vettore multi-elettrodo – si legge in un saggio di Cinzia Battistella e Kevin Warwick. - La coltura neurale, che è un cervello biologico, può essere stimolata elettricamente attraverso gli elettrodi e si può osservare la sua riposta.»[23] Questo tipo di robot "biologico" apre molte questioni delicate, a cui occorrerebbe rispondere fin da subito per non trovarsi impreparati di fronte a un'eventuale emergenza. Il robot biologico – si chiedono Battistella e Warwick – va trattato come una macchina o come un animale? E nel secondo caso, deve godere dei diritti degli animali? E se il cervello biologico del robot si evolvesse, potrebbe ciò essere l'inizio di una nuova specie animale? E ancora: in caso di errori o disobbedienza da parte del robot, chi sarebbe il responsabile? «Chiaramente, - si legge ancora nel saggio - le considerazioni etiche che abbiamo svolto per le macchine dovranno cambiare quando i robot avranno cervelli biologici».

Tornando al presente e alla vita di tutti i giorni, un problema concreto per chi ha impianti bionici è la modifica della percezione del sé. Come ci si sente, per esempio, ad

[23] Kevin Warwick e Cinzia Battistella, "*Quattro matrimoni e un funerale: problemi etici del futuro dell'interfaccia cervello-computer*", in *Ethicbots. Etica e robotica*, op. cit. Kevin Warwick è il responsabile del progetto di ricerca.

avere un occhio bionico che restituisce immagini innaturali e solo vagamente riconducibili alla realtà? E ad avere un braccio bionico, come quello che è stato impiantato nel 2006 nella spalla di Claudia Mitchell, la giovane ex-soldatessa dell'esercito statunitense, prima al mondo con un impianto del genere? In questo caso il grado di accettabilità è senza dubbio personale, ma dipende anche dalla qualità oggettiva degli impianti, visto che a tutt'oggi non possono ancora essere controllati direttamente dal sistema nervoso centrale. Per esempio con le protesi visive o uditive il "vedere", così come l'"udire", è qualcosa di artificiale che può scatenare la depressione e il rifiuto della propria condizione sensoriale ibrida. Problemi di identità personale possono nascere invece in chi ha protesi bioniche articolari, che potrebbe non accettarle, sentirle "aliene" (così come talvolta accade con gli organi trapiantati).

La seconda questione aperta dagli impianti bionici riguarda i "superpoteri" dei ciborg. Per esempio, l'ammissione da parte del tribunale di Losanna dell'atleta sudafricano Oscar Pistorius alle Olimpiadi di Pechino del 2008 ha suscitato molte perplessità. Non doveva forse gareggiare soltanto alle paralimpiadi, destinate ai disabili? Il noto biomeccanico Antonio Dal Monte, dell'Istituto di medicina e scienza dello sport di Roma, fu tra quelli che più nettamente si espressero sulla questione: «non facciamoci prendere dal fattore umano, quelle gambe artificiali, per le loro caratteristiche, fanno l'atleta più veloce di un normodotato, ed è quindi iniquo ammetterlo alla competizione»[24]. Ma l'atleta bionico deve davvero essere considerato come colui o colei che fa uso di *doping* tecnologico? Come al solito tutto dipende dalla misura. Ma intanto la questione resta aperta[25].

Problemi di equità competitiva con i ciborg sorgono anche in guerra: i soldati bionici hanno più risorse rispetto ai soldati "normodotati" degli eserciti meno moderni. Questa superiorità è una delle ragioni che dovrebbero spingere gli stati a riscrivere le regole di guerra in protocolli condivisi a livello internazionale, come ha suggerito Ronald Arkin[26]. Ma anche questa resta una questione aperta, a cui è difficile dare una risposta.

---

[24] Si tratta di una testimonianza di Antonio Del Monte raccolta alla conferenza "Sport e Scienza", tenutasi a Trieste l' 8 maggio 2008 alla Sissa (la Scuola internazionale superiore di studi avanzati), nel corso del suo intervento: *Perché Pistorius non deve correre a Pechino.*

[25] Sul caso Pistorius si vedano gli articoli di Giuseppe O. Longo sul quotidiano telematico "L'occidentale": "*Il corpo umano ha perso la sua sacralità. L'uomo è sempre più cyborg*": http://www.loccidentale.it/articolo/il+caso+pistorius.0056014

[26] Cfr. Ronald Arkin, il già citato: "*Governing Lethal Behavior : Embedding Ethics in Hybrid Deliberative/Reactive Robot Architecture*".

I “superpoteri” dei ciborg destano inquietudine e preoccupazione soprattutto nella prospettiva del futuro. Semmai saranno disponibili un giorno le protesi bioniche che aumentano le capacità cerebrali, come quelle mnemoniche e intellettive, ogni genere di competizione umana sarà sbilanciata a favore dei ciborg, a scuola come nel lavoro e nella vita di tutti i giorni. Lo stesso concetto di identità umana potrebbe a questo punto subire mutamenti, tanto da generare una sorta di discriminazione “bionica” a sfavore dei normodotati. Per fortuna, si tratta di una prospettiva molto lontana. «L’idea di dotare gli individui di poteri sovraumani, potenziando attraverso l’uso di “neuroprotesi” le capacità senso-motorie o cognitive “normali” è molto diffusa nell’immaginario collettivo, ma risulta essere poco aderente agli indirizzi di ricerca e allo stato attuale dello sviluppo scientifico e tecnologico», si legge in un saggio di Federica Lucivero e Guglielmo Tamburrini, nel volume “*Ethicbots. Etica e robotica*”[27].

Ma quali sono oggi gli impianti bionici che fanno di un essere umano un ciborg? In linea di massima possiamo dire che sono di due tipi: gli impianti controllabili direttamente tramite la volontà di chi li indossa e gli impianti non del tutto controllabili, che vivono, per così dire, di una sorta di vita propria all’interno del corpo umano. Nella prima categoria rientrano gli esoscheletri (come l’armatura *Hal* e lo zaino *Bleex*, di cui abbiamo già parlato) e le protesi bioniche articolari (gambe, mani, braccia da impiantare nel corpo), visive, uditive e via dicendo. Questi impianti sono quelli che più suscitano problemi di alterazione del senso del sé.

Nella seconda categoria di impianti bionici rientrano invece quei dispositivi che funzionano indipendentemente dalla volontà attiva di chi li porta all’interno del corpo (in questo caso non stiamo parlando di robot). Tra questi anche i semplici dispositivi di identificazione a radiofrequenza (RFID - *Radio Frequency Identification Device*) impiantati sotto pelle e usati in diversi ambiti: «come oggetti alla moda per entrare al night club a Barcellona o a Rotterdam, come dispositivi di alta sicurezza del governo messicano, o come fonte di informazione medica [...], nell’ultimo caso si può registrare l’informazione relativa alle terapie mediche direttamente nel dispositivo, per esempio nel caso del diabete»[28].

---

[27] Federica Lucivero e Guglielmo Tamburrini, “*Sul monitoraggio etico delle interfacce cervello-macchina*”, in “*Ethicbots. Etica e robotica*, op. cit.

[28] Kevin Warwick e Cinzia Battistella, “*Quattro matrimoni e un funerale: problemi etici del futuro dell’interfaccia cervello-computer*”. in “*Ethicbots. Etica e robotica*, op. cit. Ricordiamo che il primo essere umano a farsi impiantare un microchip nel corpo fu proprio Warwick, il 24 agosto 1998, a Reading, in Inghilterra.

Questi dispositivi, pur nella loro utilità, aprono questioni molto dibattute inerenti la riservatezza dei dati personali e il diritto di vivere senza essere sorvegliati da nessuno[29]. C'è chi vorrebbe impiantarli nei bambini, per localizzarli immediatamente in caso di eventuali rapimenti, negli anziani smemorati che rischiano di perdersi, nei criminali e nei pregiudicati, per individuarli in caso di fuga se carcerati, o per coglierli in flagrante in caso di recidiva.

Alcune interfacce che collegano il cervello a un macchina danno segnali in entrata al cervello: stimolatori del cervello per il trattamento di malattie come il Parkinson, l'epilessia o la sindrome di Tourette. Anche se impianti di questo genere, quantomeno nella Comunità europea[30], non dovrebbero essere usati per alterare l'identità personale o per manipolare le funzioni mentali, essi presentano egualmente tanti problemi etici. Per esempio, se una persona con uno stimolatore impiantato nel cervello uccidesse un altro uomo e poi attribuisse la colpa all'impianto, chi sarebbe il responsabile dell'omicidio? Il portatore dello stimolatore o il chirurgo che ha eseguito l'impianto? E se il problema derivasse da un'interferenza con un segnale radio, la colpa sarebbe di chi ha emesso il segnale?[31]

Non è facile rispondere a domande di questo genere. Perché se è vero che le interfacce cervello-computer che inviano segnali al cervello sono in qualche modo indipendenti, la persona che le ha impiantate nel corpo non perde la propria autonomia, non viene cioè controllata dalla macchina. Una risposta interessante al quesito viene da Guglielmo Tamburrini: «Il contesto epistemico complessivo di questo problema di attribuzione delle responsabilità è tale che né un utente, né un programmatore e neppure un produttore sono sempre in condizione di prevedere con esattezza e garantire ciò che farà effettivamente questo sistema nel suo ambiente operativo di destinazione. Questo "ginepraio" epistemologico dipende da una varietà di fattori convergenti, tra i quali la nostra limitata comprensione e il nostro controllo parziale del comportamento in base alle regole apprese, l'instabilità dei compiti mentali correlati al sistema neuronale, l'incertezza connessa alla lettura dei sensori dei robot e le fonti ambientali di disturbo della traiettoria. Ne segue

[29] Si veda di Stefano Rodotà, "*La vita e le regole. Tra diritto e non diritto"*, Feltrinelli, Milano, 2006. Stefano Rodotà, già presidente del Garante per la protezione dei dati personali, è tra gli autori della Carta dei diritti fondamentali dell'Unione europea .

[30] È l'opinione espressa dal Gruppo europeo sull'etica nelle scienze e nelle nuove tecnologie della Commissione europea, nel documento: "*Ethical Aspects Of Ict Implants In The Human Body*"(adottata il 16/03/05) disponibile sul sito Internet della Commissione europea alla pagina: http://ec.europa.eu/european_group_ethics/docs/avis20_en.pdf/.

[31] Kevin Warwick e Cinzia Battistella, op. cit.

che si possono immaginare situazioni nelle quali i programmatori, i produttori, così come gli utenti – pur avendo curato attentamente ogni aspetto di progetto, costruzione e gestione – non sono moralmente responsabili dei danni causati da dispositivi robotici azionati mediante il cervello. E se nessuno è potenzialmente colpevole, allora la domanda *b* (chi è responsabile dei danni causati da un robot stimolatore del cervello? ndr) dev'essere affrontata nel quadro di una responsabilità più oggettiva che morale.»[32].

[32] Guglielmo Tamburrini, "*Brain to Computer Communication: Ethical Perspectives on Interaction Models*", articolo in corso di pubblicazione (la traduzione è di chi scrive).

Capitolo 5
Comunicare con l'umanoide fa bene

La caratteristica più stupefacente del bambino autistico è la sua lotta spettacolare contro ogni richiesta di contatto sociale, umano.

Margaret Mahler

Abbiamo detto che la costruzione dei robot umanoidi comporta innumerevoli problemi realizzativi, sociali, psicologici e finanche religiosi, e che per queste buone ragioni in Occidente si evita accuratamente la loro costruzione. A meno che non serva a qualcosa di importante e non fine a se stesso: ad esempio, per applicazioni in terapia riabilitativa. È il caso di *Face*[1] (*Facial automaton for conveying emotions*), un progetto di ricerca del Centro interdipartimentale "E. Piaggio" dell'Università di Pisa. Caratteristica importante del robot *Face* è di saper riconoscere gli stati emotivi delle persone e di sapervi rispondere con espressioni facciali sue proprie, che corrispondono alle emozioni più comuni. In pratica il robot è in grado di simulare una comunicazione empatica con l'interlocutore. Il progetto, che procede per fasi intermedie, prevede un'evoluzione molto ambiziosa: la costruzione di un robot simile ad un essere umano, sia nell'aspetto sia nella mente, in grado di acquisire da solo le conoscenze che gli sono necessarie per lo svolgimento dei compiti che si troverà a dover di volta in volta affrontare.

[1] Per chi voglia approfondire i contenuti del progetto ecco gli articoli scientifici più significativi a firma del gruppo di ricerca:

- Giovanni Pioggia, Arti Ahluwalia, Federico Carpi, Andrea Marchetti, Marcello Ferro, Walter Rocchia, Danilo De Rossi, *"FACE: facial automaton for conveying emotions"*, in *Applied Bionics and Biomechanics* 2004:1(2) (http://www.piaggio.ccii.unipi.it/~pioggia/publications/FACE__Facial_Automaton_for_Conveying_Emotions.pdf).
- Giovanni Pioggia, *Member, IEEE*, Roberta Igliozzi, Marcello Ferro, Arti Ahluwalia, Filippo Muratori, Danilo De Rossi, *"An Android for Enhancing Social Skills and Emotion Recognition in People With Autism"*, in *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, VOL. 13, NO. 4, dicembre 2005; (http://www.piaggio.ccii.unipi.it/~pioggia/publications/An_Android_for_Enhancing_Social_Skills_and_Emotion_Recognition_in_People_with_Autism.pdf).
- Giovanni Pioggia, Roberta Igliozzi, Maria Luisa Sica, Marcello Ferro, Filippo Muratori, Arti Ahluwalia, Danilo De Rossi: "*Exploring emotional and imitational android-based interactions in autistic spectrum disorders"*, in *Journal of CyberTherapy & Rehabilitation*, Spring 2008, Volume 1, Issue 1. http://www.piaggio.ccii.unipi.it/~pioggia/publications/Exploring_Emotional_and_Imitational_Android_based_Interactions_in_Autistic_Spectrum_Disorders.pdf).

Oggi *Face* è impiegato con buoni risultati[2] all'Istituto scientifico per la neuropsichiatria dell'infanzia e dell'adolescenza "*Stella Maris*" di Pisa nella terapia comportamentale e riabilitativa dei bambini autistici. Queste giovani persone vivono in un mondo misterioso, segregato, privo in apparenza delle più comuni forme di comunicazione empatica con gli altri esseri umani. E allora, per stimolare le loro capacità comunicative, i centri terapeutici cominciano a utilizzare i robot come mediatori. Pare che la semplicità dei robot, o quanto meno la loro ridotta complessità, aiuti questi bambini. Gli esperimenti in corso sono tanti e ricorrono a vari tipi di robot, che nella maggior parte dei casi hanno l'aspetto di oggetti comuni e molto semplici, come *Keepon*[3], una doppia sfera che ricorda un pulcino. Da qualche anno ci si spinge anche a impiegare macchinari più complessi, come bambole ("*Robota*"[4] ne è un interessante esempio), bambini (è il caso di *Kaspar*[5]) e animali come la foca *Paro*, di cui abbiamo parlato nel primo capitolo.

Face si differenzia dagli altri progetti, altrettanto importanti, perché è l'unico ad avere l'obiettivo di aumentare la complessità del robot fino a renderne l'aspetto quanto più simile a quello umano. Nessuno sa quali potrebbero essere i risultati. Ma secondo il gruppo di ricerca dell'Università di Pisa vale la pena di tentare l'impresa.

La progettazione del corpo di *Face* è stata affidata al professore e maestro Piero Marchetti dell'Accademia di Belle Arti di Carrara. Il lavoro di creazione è stato lungo e laborioso ed è tuttora in continuo sviluppo. Il primo prototipo è l'abbozzo di una figura femminile, il secondo presenta una sensibile somiglianza con una donna, il terzo, di prossima realizzazione, sarà la copia identica a mezzo busto di una bella signora. È un processo graduale di

---

[2] Si veda l'articolo già citato "*Exploring emotional and imitational android-based interactions in autistic spectrum disorders"* in cui sono presentati i risultati della terapia con *Face*. I risultati, anche se importanti, hanno una ridotta validità statistica perché si riferiscono soltanto a sei pazienti autistici sottoposti alla terapia comportamentale con il primo prototipo di FACE. Il secondo prototipo sarà impiegato in un numero maggiore di pazienti e i risultati saranno quindi più significativi; (http://www.piaggio.ccii.unipi.it/~pioggia/publications/Exploring_Emotional_and_Imitational_Android_based_Interactions_in_Autistic_Spectrum_Disorders.pdf).

[3] *Keepon* è composto da due sfere gialle sovrapposte l'una sull'altra e somiglia ad un pulcino dal volto semplicissimo, raffigurato da due bottoncini per gli occhi e un altro per il naso. Rientra nella categoria dei robot danzanti ed è stato sviluppato dal *National Institute of Information and Communications Technology* (NiCT) del Giappone. Oggi *Keepon* è impiegato dallo psicologo Ideki Kozima per la terapia dei bambini autistici.

[4] Si veda di Aude Billard, Ben Robins, Jacqueline Nadel, Kerstin Dautenhahn, "*Building Robota, a Mini-Humanoid Robot for the Rehabilitation of Children with Autism*", disponibile sul sito Internet del' EPFL, *l'Ecole polytechnique Fédérale* di Lausanne, Svizzera (http://infoscience.epfl.ch/record/113920/files/)

[5] *Kaspar* (acronimo di *Kinesics And Synchronisation in Personal Assistant Robotica*) dall'aspetto di un bambolotto meccanico è stato messo a punto dall' Università di Hertfordshire, in Inghilterra, nell'ambito del progetto europeo IROMEC, *Interactive Robotic Social Mediators as Companions*. È stato impiegato anche nella prevenzione del fenomeno del bullismo, molto diffuso in Gran Bretagna. Al robot è dedicato anche un pagina web: http://kaspar.feis.herts.ac.uk/

avvicinamento al modello umano, documentato accuratamente in una serie di filmati. Uno di questi, in particolare, ripercorre le fasi di costruzione dell'umanoide in una cornice molto suggestiva di lavorazione artigianale e artistica qual è la bottega d'arte. Nel filmato[6] non si scorge il classico robot meccanico, con cavi e parti metalliche, ma si vedono le immagini anatomiche del corpo umano, un inquietante teschio, la creta, una scultura in divenire, una modella... Si vede come il robot emerga via via dall'attività creativa e artigianale dell'artista, che dalla notte dei tempi è stato sempre impegnato a riprodurre la figura umana, studiandone assiduamente l'anatomia e le capacità espressive.

In *Face* ci ha colpito il connubio tra arte e tecnologia. E allora abbiamo chiesto a Marcello Ferro, uno dei bioingegneri del gruppo del Centro interdipartimentale di ricerca "E. Piaggio" dell'Università di Pisa, di illustrare e commentare il filmato che ripercorre il processo di costruzione del robot. Da dove sono partiti, quali problemi hanno incontrato. Dove vorrebbero arrivare. E così, mentre scorrono le immagini, Marcello narra la storia di *Face*.

LO SGUARDO, IL SORRISO, LA CARNE E LE OSSA

Con Danilo De Rossi[7] e Giovanni Pioggia, abbiamo cominciato con lo studio dell'anatomia umana. Prima il teschio e le vertebre cervicali, poi i fasci muscolari che determinano le espressioni del volto, come il sorriso che è la più bella, e infine la pelle, con i suoi spessori e le sue elasticità molto variabili. L'idea di uno studio anatomico così approfondito non è stata nostra, ma di Piero Marchetti, lo scultore dell'Accademia di Belle Arti di Carrara a cui abbiamo affidato la progettazione della parte corporea del secondo prototipo di *Face*. Del resto, noi del gruppo di ricerca da soli non ce l'avremmo mai fatta. Il primo prototipo, ancora impiegato per la terapia dei bambini autistici, l'avevamo realizzato da soli, e difatti è un fantoccio esteticamente poco apprezzabile.

[6]Il documento filmato è stato presentato la prima volta in occasione dell'*Epigenetic Robotics Conference*, che si è tenuta a Parigi il 20 e 22 settembre 2006. Qui sia fa riferimento ad un aggiornamento del filmato, risalente all'anno successivo.

[7] Danilo De Rossi è professore ordinario di Ingegneria biomedica alla Facoltà di ingegneria dell'Università di Pisa e direttore del Centro interdipartimentale "E. Piaggio" della stessa università. È il coordinatore del gruppo di ricerca del progetto *Face*, a cui partecipano il Centro Interdipartimentale di Ricerca "E. Piaggio", Facoltà di Ingegneria, Università di Pisa (Prof.ssa Arti Ahluwalia, Dr. Giovanni Pioggia, Dr. Marcello Ferro, Dr.ssa Claudia Caudai, Dr.ssa Silvia Casalini, Ing. Antonino Armato, Ing. Lucia Billeci); l'Istituto Scientifico "Stella Maris" (IRCCS), Dipartimento di Neuroscienze dell'Età Evolutiva, Università di Pisa, Italia (Prof. Filippo Muratori, Dott.ssa Roberta Igliozzi) e infine l'Accademia delle Belle Arti di Carrara, Italia (Prof. Marco Baudinelli, Prof. Piero Marchetti, Prof. Paolo Bresciani).

BELLA ED ESPRESSIVA, QUASI UMANA

Il nostro obiettivo era quello di migliorare *Face*, dandole il volto verosimile di una donna generica, non troppo caratterizzata e con la capacità di esprimere le sette emozioni umane di base riconosciute universalmente: felicità, tristezza, paura, rabbia, sorpresa, disgusto, disprezzo e, naturalmente, assenza di espressione. Così Piero Marchetti ha realizzato un modello neutro. È partito dal sorriso di una modella, dagli occhi di un'altra donna, dalla fronte di un'altra persona ancora, e così via, un po' come si fa con il modello tridimensionale dell'identikit. Se lo scultore avesse usato il modello di una sola donna l'effetto estetico sarebbe stato disastroso: trattandosi di un volto dinamico, cioè capace di attuare movimenti, l'innesto delle parti meccaniche avrebbe reso comunque la maschera differente dall'originale.

PRIMA DI TUTTO, LO SCHELETRO

Abbiamo riprodotto il cranio con la tecnica del calco e del negativo a partire da un modello reale, perché volevamo restare il più possibile fedeli all'anatomia umana. Poi ci siamo messi a studiare con molta attenzione i fasci muscolari coinvolti nella mimica facciale. Sono tantissimi, centinaia. Chiaramente tutta questa complessità doveva essere ridotta senza compromettere l'espressività di base di *Face*. Abbiamo allora fatto riferimento al più diffuso codice dei movimenti facciali umani di base, il FACS *Facial Action Coding System*, elaborato da Paul Ekman[8] nel 1978. In pratica ogni muscolo è associato a una codifica, un'unità d'azione, e all'interno di questo strumento, il FACS, con una serie di combinazioni di muscoli si arriva all'esecuzione dei sette movimenti che determinano le espressioni facciali di base.

I TENDINI, PER MUOVERE I MUSCOLI

Il cranio, ricoperto da uno strato di tessuto intermedio su cui scivola la pelle artificiale, presenta alcuni punti chiave a cui sono ancorati i fili che simulano i tendini dei muscoli, e che dai piccoli perni sulle ossa facciali finiscono all'interno del teschio. Per esempio, un tirante ancorato allo zigomo tendendosi si porta dietro la pelle, determinando un'espressione di sorriso. La scatola cranica, oltre a fare da centralina per i tiranti, è anche il contenitore

[8] Per lo psicologo statunitense Paul Ekman, che ha elaborato il codice nel 1978, le sette espressioni facciali dell'emozione costituiscono un repertorio innato, specie-specifico.

dei motorini elettrici che li azionano. Il cervello artificiale, simulato da un computer, è invece esterno al busto di *Face*.

LA CUTE, ELASTICA E DELICATA

Ed ecco la pelle. È di silicone, e per crearla sono state fatte molte colate di schiuma sul negativo del modello scultoreo in creta, che è di resina e costituisce il calco originale del volto di *Face*. Poi, una volta asciutta, la pelle è stata posata sul teschio trattato con la guaina intermedia. A tenerla ferma sono solo i tiranti, un po' come la nostra cute, quindi per sostituirla basta soltanto sfilarla via, come si fa con una maschera. Poiché lo spessore e l'elasticità della pelle sono molto importanti per determinare l'espressività umana, siamo stati molto attenti a riprodurne fedelmente anche spessore ed elasticità, per ogni area del volto. Per esempio sulla fronte la pelle è più sottile che sulla guancia. Ma la fedeltà all'originale umano la rende tanto delicata che si può lacerare facilmente.

E, INFINE, LA CAPACITÀ ESPRESSIVA

Abbiamo lavorato molto sul movimento degli occhi, che è governato da un sistema di doppi tiranti, in senso longitudinale e trasversale. Il meccanismo replica esattamente la meccanica biologica, e, grazie al controllo del computer, si evita ogni sensazioni di strabismo. Anche il muscolo del sorriso sullo zigomo e quello del corrugatore, che si trova sulla fronte tra gli occhi e determina l'aggrottamento, sono molto verosimili. Abbiamo invece problemi meccanici sugli altri muscoli e quindi l'espressività nel complesso non è ancora del tutto precisa.

PER MUOVERSI SERVE LIBERTÀ

Un robot che sa roteare il collo sul suo asse conico in senso longitudinale a destra e a sinistra ha un grado di libertà, se sa fare anche il movimento verticale, in su e in giù, ne ha un altro. Per gli occhi è la stessa cosa. Quindi un robot che sa muovere gli occhi e il collo ha quattro gradi di libertà. Per garantire la libertà di movimento delle parti meccaniche di *Face* servono però tanti motorini. Due solo per far muovere il collo a destra e a sinistra. Per azionare i movimenti di collo e occhi nei loro quattro gradi di libertà ci vogliono in tutto otto motorini. È un bell'ingombro!

MUSCOLI E MOTORI, PER ESPRIMERE EMOZIONI

Se volessimo riprodurre tutti i muscoli facciali umani ci vorrebbero duecento motorini elettrici. Ma non potrebbero di certo essere alloggiati nella scatola cranica di *Face*! Non potendoli miniaturizzare più di tanto, ci siamo allora accontentati di ridurne il numero a ventisei, che corrispondono a circa 14 gradi di libertà. Sia chiaro però che le espressioni che *Face* può mimare (felicità, tristezza, paura, rabbia, sorpresa, disgusto, disprezzo e assenza di espressione) non dipendono dai gradi di libertà, ma dai movimenti dei tiranti, modulabili in intensità dal sistema di controllo (si può determinare per esempio un sorriso lieve oppure un po' più marcato, con diverse sfumature).

LE BRACCIA? DOMANI. E' LA TESTA CHE CONTA

In origine erano previste anche le braccia, anzi un solo braccio, per la verità, ma visto che dal punto di vista meccanico ed estetico la realizzazione di questa parte anatomica comporta meno problemi rispetto al volto, abbiamo deciso di rimandarla a quando il viso sarà perfetto. Quando *Face* avrà le braccia, sarà dotata di un sistema di controllo che le impedirà di colpire le cose, le persone e anche se stessa. Il suo sistema di controllo già evita che gli occhi si muovano in modo indipendente l'uno dall'altro. E così un domani, grazie a calcoli di cinematica inversa, controllando e integrando le informazioni del mondo esterno così come il suo sistema le percepisce, *Face* cercherà anche di prevedere le possibili collisioni, per evitarle. In questo caso occorrerà naturalmente dotarla di sensori visivi e di sensori tattili.

CHE EFFETTO, INGEGNERI ED ARTISTI AL LAVORO!

Abbiamo lavorato in una stanza di un vasto *hangar* dell'Accademia di belle arti di Carrara. Per noi della facoltà d'ingegneria l'ambientazione non era affatto familiare, c'erano gessi dappertutto … All'inizio con gli artisti non ci capivamo: lavorando in ambiti disciplinari differenti, ognuno parlava il proprio linguaggio ed è stato necessario stabilire un codice di comunicazione comune. Da una parte, noi del gruppo di ricerca ci siamo confrontati con i limiti oggettivi della progettazione artigianale: l'importanza dei materiali, per esempio; inoltre non sapevano quanto si potesse fare concretamente da un punto di vista artistico. D'altra parte gli artisti, che avrebbero voluto veder materializzate le loro bellissime idee, si sono invece dovuti limitare a una creazione compatibile con le varie strumentazioni di *Face* (il computer, i motorini elettrici, i cavi, ecc.) e con i suoi limitati gradi di libertà.

IL BAMBINO DENTRO IL ROBOT

Quando *Face* è al lavoro, siamo davanti a un robot per così dire espanso, perché ha dei sensori collocati sul corpo, un sistema di microfoni ambientali e una serie di sensori esterni indossati direttamente dal paziente. Tutti i dati finiscono registrati direttamente nel sistema di controllo della macchina, tramite protocolli di comunicazione *wireless*. *Face*, usata sempre in presenza del terapista, può essere controllata in remoto o in automatico. Nel primo caso l'operatore (non il terapista) può manovrarla come se fosse una marionetta, azionando le leve di un programma per muovere il collo o gli occhi, per sorridere e via dicendo. Nel secondo caso, il sistema procede in modo automatico, senza l'intervento dell'operatore: un algoritmo particolare individua la direzione dello sguardo del bambino in cura e il sistema fa muovere la testa di *Face* facendole volgere lo sguardo verso il suo interlocutore. Ciò è possibile grazie alle telecamere nascoste in un cappellino indossato dal paziente, e collegate in *wireless* al sistema di controllo.

INSIEME, CON LO SGUARDO, IL RESPIRO, LA TENSIONE, IL CUORE

Per la terapia è molto importante registrare costantemente lo sguardo del paziente per capire dove e che cosa guarda. Se infatti quando ci rivolgiamo a una persona di solito noi la guardiamo in volto, il bambino autistico non lo fa e guarda invece verso le cose in movimento, senza attribuir loro troppo significato. Oppure ti guarda fisso in direzione della bocca, anche quando succedono altre cose. Con *Face* è anche possibile seguire e tenere traccia della cosiddetta "attenzione condivisa". Per esempio il terapista dice "guarda com'è bello questo giocattolo" e rivolge l'attenzione verso il giocattolo, se lo fa anche il bambino vuol dire che c'è un segnale di attenzione condivisa. Nel nostro caso *Face* vede se il paziente sta guardando verso un qualche punto, il giocattolo per esempio, e in maniera automatica capisce se c'è attenzione condivisa oppure no. Nel corso della seduta terapeutica il robot registra anche i dati fisiologici della persona, come la frequenza respiratoria, quella cardiaca tramite un elettrocardiografo, l'attivazione muscolare tramite un elettromiografo. Con il nuovo prototipo faremo indossare al paziente una maglietta che registra tutti i dati fisiologici e di altro tipo e li invia al sistema di controllo del robot, in modo che un operatore possa analizzarle.

BELLA COME UNA PRINCIPESSA!

Il primo prototipo, tutt'oggi impiegato all'Istituto *Stella Maris* di Pisa, è davvero brutto. Eppure qualche bambino lo trova bello e ciò costituisce per noi un grande risultato terapeutico! Con *Face* sono accadute cose inaspettate anche per la terapista che se ne occupa. Per esempio, un piccolo paziente ha detto: "è bella, sembra una principessa". In genere le persone affette da autismo difficilmente si esprimono così, eppure è accaduto. Forse è stata la semplicità della macchina ad aiutarlo a relazionarsi. In effetti, nella letteratura degli ultimi anni emerge come gli strumenti questo tipo siano effettivamente d'aiuto per gli autistici: finora si è sempre provato con cose semplici, come le bambole e i robottini. Ce n'è uno, si chiama *Keepon*, costituito da una doppia palla di gomma che oscilla quando è contenta.

QUELLA VALLE OSCURA, IN CUI IL ROBOT È RIPUGNANTE

Non sappiamo come verrà accolto il nuovo prototipo di *Face*. Se accettiamo l'ipotesi dell'*Uncanny valley* di Masashiro Mori, possiamo dire che man mano che la complessità aumenta la reazione al robot si modifica. Le riproduzioni stilizzate delle emozioni come gli *emoticon* sono per esempio molto accettate dalle persone. Tuttavia man mano che si sale di complessità c'è una caduta del gradimento e solo quando la forma umana diviene molto verosimile c'è di nuovo accettazione e simpatia nei confronti dell'umanoide. Ecco, in quell'intervallo, in quella "valle", il robot è al contempo complesso e brutto. Personalmente credo che il nuovo prototipo di *Face* ricada in pieno nella valle di Mori e quindi dobbiamo assolutamente superarla. Anche se per la verità restare nell'*Uncanny valley* costituisce per noi una scommessa. I bambini affetti da autismo potrebbero infatti gradire *Face* e disinteressarsi della sua bruttezza. Ovviamente per esserne certi dobbiamo sperimentarlo. Per valutare quale livello di verosimiglianza si adegui meglio alla terapia, nei nostri progetti c'è già un terzo prototipo del volto del robot, molto più simile a una donna. Sarà realizzato nella sua parte corporea dalla società statunitense *Hanson Robotics* di David Hanson. Loro hanno la tecnologia adatta per migliorarne l'aspetto.

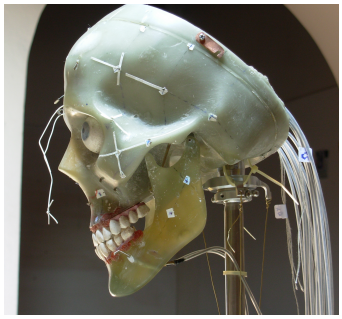
RIPRODURRE LA BELLEZZA, UNA SFIDA IMPOSSIBILE!

Riprodurre un volto umano mobile ed espressivo e al contempo esteticamente gradevole è di una difficoltà inimmaginabile. Credo che sia una delle imprese più complesse da realizzare in robotica, una vera e propria sfida con se stessi. Personalmente, non ho una preclusione nei confronti dei robot dalle sembianze umane. Anzi, credo che interagire con un

umanoide sia più umano, escludendo quella famosa valle del perturbante, s'intende. Ma per realizzarli nella loro complessità estetica occorre una vita intera di lavoro e di studio, occorre essere artisti ed è necessario affrontare i problemi della verosimiglianza e le difficoltà di realizzazione della parte meccanica. Questa, infatti, ha bisogno di tantissimi motorini, molto piccoli. Viste le difficoltà, credo che tutto sommato valga la pena di affrontarle solo quando sia davvero necessario!

Lo studio dei muscoli

Il modello



Il teschio con i tiranti

Si prepara la base per la pelle …

Il volto di *Face*

Conclusioni

… e non ci sono situazioni non ambigue, le situazioni sono sempre tutte ambigue, problematiche. Dopo il peccato originale la tranquillità non è stata più conosciuta...

Paolo Rossi, filosofo e storico della scienza

Abbiamo frequentato numerosi convegni scientifici, intervistato molti esperti, visitato alcuni centri di ricerca, spulciato nei contenuti delle pagine web delle più importanti università, letto un gran numero di rapporti, statistiche, ricerche, pubblicazioni scientifiche e non scientifiche, guardato ore di filmati prodotti dai centri di ricerca. Ma niente da fare. Prima di gettare la spugna, per capire meglio ci siamo imbarcati in un'impresa non facile: la lettura dalla prima all'ultima delle oltre 1500 pagine dello *Springer Handbook of Robotics*, la *summa* della ricerca robotica, datata 2008, la cui preparazione ha comportato, a detta dei suoi curatori, sei lunghi anni di duro lavoro. Segno che la comunicazione della robotica è un campo difficile non soltanto per i giornalisti e i comunicatori della scienza.

Strada facendo abbiamo scoperto che il campo d'indagine della robotica è sterminato e che questa scienza sta diventando trasversale, difficile da capire perché inglobata sempre di più nelle altre scienze, come l'informatica. Abbiamo appreso dalla società mondiale di robotica dell'IEEE (*Institute of electrical and electronics engineers*) di una imminente evoluzione dei robot in sistemi robotici "invisibili", cioè che ci sono ma non si notano.

Abbiamo anche individuato alcune ambivalenze singolari. Se in Occidente e soprattutto in Europa si disdegnano i robot umanoidi nella pratica la realtà è diversa. La ricerca di base europea mostra infatti interesse per i robot antropomorfi. Ne sono un esempio concreto i robot calciatori, *Cb2*, *Justin*, *Face*... e la lista, credeteci, è lunga. Per ragioni del tutto diverse, abbiamo visto che gli umanoidi cominciano ad essere apprezzati anche negli Stati Uniti, dove l'inventore robotico David Hanson investe i suoi denari e tutto se stesso nella costruzione di robot identici agli esseri umani.

Abbiamo anche notato una sensibile differenza di prospettiva tra la ricerca di base e le applicazioni robotiche, queste ultime molto sviluppate oggi in tre settori strategici: "soc-

corso e protezione civile", "biomedicina e assistenza al paziente", "difesa militare e civile". Da una parte, le applicazioni aprono molti problemi di ordine sociale ed etico, di cui si discute a livello interdisciplinare da una decina d'anni a questa parte, ma non si profilano soluzioni certe per evitare che una tecnologia sviluppata a fin di bene sia utilizzata per nuocere a qualcuno. D'altra parte, la ricerca di base desta molte più preoccupazioni e apre interrogativi a cui è molto difficile rispondere. Non legata direttamente alle applicazioni (che devono invece calarsi nella realtà per incontrare il mercato e le sue regole), la ricerca è infatti molto condizionata dai sogni, dalle speranze di un futuro migliore e, diciamolo pure, dalle idee talvolta estreme o addirittura folli dei robotici.

Ebbene, dopo aver percorso tutte le strade possibili in compagnia di robotici, bioingegneri, sistemisti, filosofi, artisti e registi, l'unica cosa che abbiamo appurato per certo è che la complessità della robotica è sconfinata sotto ogni profilo. E ciò rende difficile ogni tentativo di riduzione della complessità in vista di una comunicazione della scienza che non sia banale. Finanche la *Scuola di robotica* di Genova ha avuto non poche difficoltà nel produrre *Ciao Robot*, il primo e unico documentario destinato al vasto pubblico che tenti di ridurre la complessità della robotica sotto il profilo etico. Non a caso la lavorazione del film è durata quattro anni.

La complessità è accresciuta dalla circostanza che la robotica nasce già dotata di un legame inestricabile con la fantasia. Non è un mistero infatti che i robot, in quanto invenzioni, siano entrati nella ricerca scientifica attraverso le porte dell'immaginazione, del mito e della fantasia letteraria. Ciò è tanto vero che ancora oggi gli stessi ingegneri non solo rivendicano le origini mitiche e fantastiche della loro disciplina, ma rispettano con rigore le tre celebri leggi introdotte da Isaac Asimov in un suo racconto di fantascienza, e che abbiamo citato tante volte che non vale la pena di ripeterle ancora.

Sogno, mito e fantasia si legano insieme nella ricerca robotica, in un concatenazione dunque riconosciuta e accettata dai robotici stessi. Questo legame ci ha spinti a tentare di individuare in modo organico le visioni immaginifiche che guidano oggi la progettazione delle macchine intelligenti e autonome, sollevando talmente tanti problemi di carattere sociale ed etico su un eventuale futuro prossimo di convivenza tra noi e i robot da non poter separare la disciplina scientifica dai problemi stessi che comporta e racchiude in sé .

Sapendo che le invenzioni tecnologiche nascono dal sogno e dalla fantasia, ci siamo allora messi alla ricerca di un filo conduttore comune, per cercare di capire quale futuro si prospetti, con l'intenzione di esporlo al pubblico e prendere insieme le dovute misure. Ci

aspettavano che alla prova dei fatti una simile ricerca rendesse così pochi risultati. Ma non ci aspettavamo tanta complessità.

Detto questo si sa poco o quasi nulla sul futuro che ci aspetta. La strada del domani è aperta alle tante possibilità dei sentieri che la ricerca stessa ha cominciato a tracciare.

Che cosa potrebbe accadere? È possibile che i robot entrino per gradi nel corpo umano sotto forma impianti bionici o di microchip e che un domani le persone si trasformino progressivamente in ciborg. Ma non è detto che ciò accada. È anche possibile che il computer, dotato di interfacce aptiche, diventi (anche qualora continuassimo a chiamarlo computer) un robot facile da usare e capace di semplificarci ancora di più la vita. È probabile, e in parte già accade, che la tecnologia robotica sia presto usata per sorvegliare persone, gruppi etnici, nazioni favorendo la nascita di una nuova forma di controllo e segregazione tecnologica, il che giustificherebbe le preoccupazione espresse oltre trent'anni fa da Michel Foucault, nel suo celebre *Sorvegliare e punire*[9].

Possiamo dire, con una certa approssimazione, che alcuni settori della ricerca robotica sollevano più di altri questioni etiche e problemi sociali e che per questa ragione varrebbe la pena parlarne in un dibattito pubblico schietto. Di settori critici ne abbiamo individuati quattro, ma potrebbero essercene altri:

- ✓ **esseri umani ibridati con dispositivi bionici**. Questo campo di ricerca sta dando molti risultati soprattutto nella protesica, ma apre questioni di giustizia sociale (in assenza di una sanità pubblica, chi potrà permettersi l'acquisto e la manutenzione delle protesi?). In questo settore di ricerca rientrano anche le interfacce cervello – computer (come quelle usate per potenziare l'attività cerebrale negli ammalati di Alzheimer). Anche i microchip da impiantare sottopelle rientrano nella categoria dei dispositivi bionici. Già sul mercato, se usati per scopi identificativi e di controllo possono minare seriamente la riservatezza, la libertà, e l'identità umana[10];
- ✓ **robot di nuova generazione con cervello biologico** (allo studio all'università di Reading, in Gran Bretagna). Qualora la ricerca fornisse buoni risultati si prospetterebbe la nascita di una nuova specie (semi)biologica, con cui fare i conti;

[9]Michel Foucault, "*Sorvegliare e punire. Nascita della prigione*", Einaudi, Milano, 1993.

[10] Si veda l'articolo citato di Giuseppe O. Longo "*Una pulce sottopelle: libertà e sicurezza*", su *VeriChip*, il microchip da impiantare sotto la pelle contenente i dati sanitari, personali e identificativi. Ricordiamo che oggi è usato dalle persone con malattie gravi per scongiurare interventi terapeutici sbagliati in caso di improvviso ricovero ospedaliero in stato di incoscienza. Ma un futuro potrebbe rendersi utili come documento identificativo e di controllo.

- ✓ **robot ad uso personale,** da impiegare al posto di inservienti, insegnanti, babysitter e quant'altro. Molto sviluppato in Giappone e Corea del Sud, questo campo di ricerca apre questioni sociali, epistemologiche ed etiche legate all'interazione uomo-robot, di cui abbiamo ampiamente parlato, e pone la delicata quanto bizzarra questione sui diritti dei robot;
- ✓ **sistemi robotici per la guerra**. Nel settore bellico, in cui si concentra gran parte della ricerca robotica a fini applicativi, gli scenari aperti sono tali da imporre la riscrittura totale delle regole di guerra. È evidente infatti cha la vittoria sarebbe soltanto di chi avesse più tecnologia robotica su cui contare.

Per concludere, la continua commistione con scenari immaginativi, la notevole complessità della disciplina e l'incertezza sulle possibilità di applicazioni future rende la robotica difficile da comunicare. Di più non possiamo proprio dire.

Appendice 1
Ciao robot, un caso concreto di comunicazione della robotica

> "*Per noi un robot ha pressappoco questo aspetto: crediamo che abbia le gambe e le braccia … e pensiamo che debba avere un volto simile al nostro.*"

Sull'immagine di un bambino intento a disegnare un umanoide, partono le prime battute di una voce fuori campo. La stessa che pochi secondi dopo riferisce che i "robot" nascono dalla fantasia di uno scrittore boemo nato sul finire dell'800, Karel Čapek. In un'opera teatrale, *RUR*, li concepisce come schiavi costruiti dall'uomo. E subito le immagini di un dialogo di scena lasciano intendere il dramma che ne scaturirà: quei robot hanno un'anima e si ribelleranno. Ma ecco la più rassicurante realtà di una fabbrica. Alla catena di montaggio macchinari ingombranti assemblano per la prima volta e con destrezza i pezzi delle automobili, lavorano al posto degli operai e si chiamano robot, come le creature di Čapek. Correva l'anno 1961, e da allora molto è cambiato, oggi "*i robot sono macchine intelligenti, capaci di assumere decisioni*", e la voce fuori campo annuncia l'arrivo degli alieni.

Non è l'ennesimo film di fantascienza. Ma il prologo di "*Ciao Robot. La nascita della roboetica*", il primo documentario italiano sui robot concepito per il vasto pubblico e prodotto dai ricercatori della *Scuola di robotica* in collaborazione con la *Wodan produzioni*. È un esempio raro di comunicazione della robotica, la disciplina grazie alla quale si costruiscono le macchine più potenti mai concepite dagli esseri umani, uno dei campi

Scheda del film

Titolo: *"Ciao robot, la nascita della roboetica"*; **Nazione**: *Italia*; **Anno**: *2008*; **Genere**: *documentario*; **Durata**: *52'*; **Produzione**: *Scuola di robotica e Wodan produzioni*; **Soggetto:** *Fiorella Operto e Gianmarco Veruggio*; **Sceneggiatura**: *Pietro Zoboli e Manuel Stefanolo*; **Organizzazione**: *Emanuele Micheli;* **Direzione di produzione**: *Fiorella Operto*; **Montaggio e regia**; *Manuel Stefanolo.*
Trama: quattro storie di robot amici per raccontare chi sono e cosa sono in grado di fare .

più complessi, multidisciplinari e trasversali della scienza. I produttori hanno preferito raccontare al pubblico l'avvento dei robot unendo l'etica alla scienza, in una chiamata di responsabilità per tutti. Perché sia chiaro, recita l'ormai familiare voce fuori campo: "*I robot nascono dalla ricerca scientifica ed ogni ricerca può avere risvolti inaspettati e pericolosi*". Scorrono le immagini e dai robot della fantasia si giunge a quelli della realtà, così poco noti, quasi mai umanoidi e per nulla appariscenti. Eccoli, li vediamo rendersi utili, in alcune occasioni sembrano indispensabili, e ci rendiamo subito conto che non sono né buoni né cattivi, sono robot!

In un collage elegante di immagini, filmati originali e di repertorio, foto d'epoca, riprese di robot al lavoro, scene teatrali, interviste inedite a esperti di fama mondiale, s'incorniciano alcune storie concrete di fratellanza e simbiosi tra esseri umani e robot. La prima racconta della gamba bionica dell'atleta paralimpico Stefano Lippi e della speranza che un giorno tutte le persone come lui possano contare su arti robotici, magari controllabili direttamente con la mente. La seconda è una vicenda di solidarietà tra forze armate già contrapposte: agosto 2005, un batiscafo russo resta incagliato tra i cavi d'acciaio nelle profondità del mare, all'ultimo secondo il robot britannico *Scorpio* salva loro la vita, tranciando i cavi d'impaccio con le sue potenti cesoie. È poi la volta dei robottini che Robin Murphy esperta di robotica di soccorso, porta all'alba del 12 settembre 2001 sulle macerie di *Ground Zero*, nel vano tentativo di trovare un cenno di vita umana. Un'altra storia ancora narra le imprese del versatile robot *Wheelbarrow* in Afghanistan, dove per evitare che i civili saltino in aria rintraccia le micidiali mine antiuomo e ogni genere di esplosivo sotto la guida attenta dell'aeronautica militare italiana. Con un cambio radicale di scena si passa alla chirurgia, un altro ambito in cui i robot sanno rendersi utili. Nella pancia del signor Corrado entra il bisturi sottilissimo del robot chirurgo *Da Vinci* e gli asporta un brutto tumore alla prostata senza neppure un taglio. Il tutto sotto la guida a distanza del chirurgo in carne ed ossa. Ed ecco apparire il flagello dell'umanità: la guerra, che trasforma il buon *Wheelbarrow*, salvatore di vite umane, in un soldato che uccide con grande precisione, guidato a distanza dalla mano umana. E infine, uno stacco. Una forte esplosione, quel fungo biancastro che si alza nell'aria, e poi la voce lontana del presidente degli Stati Uniti Truman. "*È il 6 agosto 1945, nasce l'era atomica e il mondo cambia per sempre*", batte la voce fuori campo. È l'epilogo, il grido di dolore della coscienza che si ribella al delitto commesso contro l'umanità, per mezzo della scienza.

Un bel documentario, costruito con tante voci differenti, poche verità e molte domande cui non è facile rispondere. Un bell'esempio di comunicazione della scienza fatto

all'insegna dell'onestà intellettuale e del senso di responsabilità, nella speranza che tutti possano esprimersi sul futuro che si sta preparando nei laboratori di ricerca.

Solo una lieve dissonanza si percepisce a tratti nelle immagini che scorrono: l'idea, un po' paternalista, che per garantire l'approvazione del pubblico su quanto gli scienziati fanno di buono e per il bene dell'umanità basti informare correttamente la gente, magari senza spaventarla troppo. Ma tutto sommato è un piccolo neo, in confronto all'impresa così difficile di comunicare la robotica. Il regista Manuel Stefanolo svela le difficoltà che la realizzazione del film ha comportato e le strategie di comunicazione da lui scelte per ridurre il più possibile la complessità.

Manuel Sfefanolo, com'è nata l'idea di un documentario sui robot?

È stata un'idea di Gianmarco Veruggio, della Scuola di robotica. Il primo simposio internazionale sulla roboetica che si è tenuto a fine gennaio 2004 a Sanremo è stato un evento talmente importante che la Scuola di robotica, che l'ha organizzato, ha ritenuto opportuno documentarlo. E così abbiamo subito cominciato a fare una serie d'interviste filmate a molti relatori intervenuti al convegno. Abbiamo continuato a fare interviste anche al simposio che si è tenuto due anni dopo a Genova[1] e in altre occasioni. A luglio 2006 ci siamo ritrovati con 100 ore d'interviste filmate, fatte a quaranta tra i più noti robotici, ingegneri e umanisti provenienti da Giappone, Stati Uniti, Svezia, Danimarca, Inghilterra, Francia, Belgio, Svizzera, Spagna e Italia, naturalmente. A quel punto abbiamo deciso di farne un documentario vero e proprio.

Nel corso delle interviste hai rivolto a tutti gli esperti le stesse domande?

Ho tentato, ma non è stato facile, perché la robotica è al contempo multidisciplinare e molto settoriale: c'è l'esperto di armi, quello di chirurgia, e così via. Perciò le domande comuni sono relative soltanto al rapporto tra uomo e robot, all'impatto che le macchine possono avere e alla necessità o meno di disciplinare la ricerca.

[1] Ci si riferisce all'*Atelier sulla roboetica*, citato già in precedenza, che si è svolto a cavallo tra febbraio e marzo 2006 a Genova, sotto il coordinamento della Scuola di Robotica. Il convegno ha coinvolto a livello internazionale numerosi robotici e studiosi di scienze umane, che insieme hanno in quell'occasione hanno scritto la prima carta etica della robotica: la *Roadmap* della roboetica.

Tu non hai una formazione scientifica, come hai fatto a entrare in sintonia con la robotica?

Fin da subito ho fatto molte domande, cercando di capire il senso dei concetti principali, senza entrare nel dettaglio tecnico, per me incomprensibile. Ho imparato molto dai continui colloqui con Fiorella Operto e Gianmarco Veruggio della Scuola di robotica e dalle interviste. Quello della robotica mi sembra un campo interessante, poco affrontato in Italia. Però è molto complesso, perché, ribadisco, è esteso a quasi tutte le discipline scientifiche.

Come sei riuscito a ridurre tanta complessità?

Ho invitato la Scuola di robotica a semplificare, raccontando cose concrete, parlando di robot specifici e mai di robot in generale. E così abbiamo scelto di mostrare qualche robot al lavoro, di raccontare le storie di alcune persone che vivono a stretto contatto con questo genere di macchine. Abbiamo anche deciso di diluire all'interno della narrazione i discorsi teorici, applicativi ed etici. Senza storie concrete sarebbe stato difficile parlare di robot. D'altronde utilizzando solo le interviste avremmo annoiato il pubblico, anche intercalandole, per esempio, con una voce fuori campo e con immagini di contorno.

Ma la robotica è sterminata, com'è possibile ridurla a qualche storia sporadica?

C'è un'idea di fondo alla base del film, quella di far vedere come queste macchine oggi siano impiegate comunemente, pur nascendo dalla fantascienza. Certo, i campi d'applicazione sono talmente tanti da non poterne parlare in termini generali nei 52 minuti di durata del documentario. I robot industriali, per esempio, hanno funzioni, vantaggi e problemi molto diversi dai robot militari, e parlarne nel medesimo contesto narrativo è difficile. Avremmo potuto occuparci di robot e archeologia, di robot e sesso, di robot e mare. Ma tra i numerosi campi d'applicazione alla fine abbiamo scelto la protesica, la chirurgia, la protezione civile e la guerra.

Perché avete deciso parlare di protesi, chirurgia, soccorso e guerra?

La scelta è stata condizionata soprattutto dalla possibilità di trovare una storia da raccontare. Per esempio, per la robotica industriale non abbiamo trovato una storia interessante da raccontare. Invece la vicenda dell'equipaggio del sottomarino russo rimasto intrappolato in fondo al mare in agosto del 2005 e salvato da un robot inglese l'avevamo già. È stato il

capitano della marina britannica Riches, che ha eseguito l'intervento, a darci le immagini girate dal robot. E così le abbiamo utilizzate nell'episodio dedicato alla protezione civile.

Come sono nate le altre storie?

Ci interessava il tema del doping tecnologico quindi abbiamo chiesto a Stefano Lippi, l'atleta italiano senza una gamba, campione di salto in lungo alle paralimpiadi, se voleva collaborare. Ha accettato perché, guarda caso, stava sperimentando su se stesso un nuovo ginocchio robotico che si muove automaticamente. Siamo andati a Bologna, al centro protesi che lo ha in cura e abbiamo fatto le riprese. È stato interessante per noi perché ci siamo resi conto dell'esistenza di un mondo parallelo. Quando si entra in un centro protesi, tutti sono amputati. Fa impressione, perché molti sono giovani. Sulle pareti dei muri sono affisse le pubblicità degli arti robotici, accanto alle gigantografie dell'atleta paralimpico.

Avete scelto la storia di Stefano Lippi anche perché tocca il cuore della gente?

Per la verità in principio volevamo narrare la storia di Kevin Warwick, il professore di cibernetica dell'Università di Reading che si è fatto impiantare i microchip nel corpo. Ci ha raccontato momento per momento il suo esperimento nel corso di una lunga intervista. Ma poi nelle fasi successive della lavorazione del film non ci ha facilitato il lavoro, ha avuto difficoltà nel concederci le immagini. Così ci siamo rivolti a Lippi, per farci raccontare il suo rapporto tra nervi e macchina.

La storia dell'uomo che viene operato dal robot chirurgo, come l'avete trovata?

Quello biomedico è uno dei settori d'applicazione più promettente della robotica e volevamo trattare il tema. Allora ci siamo messi in contatto con il chirurgo robotico Giberti, dell'ospedale San Paolo di Savona, uno dei pochi in cui si praticano questo genere d'interventi. Ha accettato di buon grado la collaborazione, trovando lui stesso il signor Corrado, il paziente operato alla prostata con il robot *Da Vinci* e che ha fatto da protagonista nell'episodio. Abbiamo girato per tre giorni e mezzo, ma ci sono voluti tre mesi di tempo per organizzare il tutto. Però sono rimasto un po' deluso.

Deluso di cosa?

Al signor Corrado interessava ben poco che fossero le pinze del celebre robot *Da Vinci* a intervenire nel suo corpo, e non direttamente le mani del chirurgo.

L'episodio sulla protezione civile è un collage di piccole storie toccanti: *Ground zero*, il sottomarino russo, gli italiani in Afghanistan. Ma nella parte dedicata alla guerra manca una storia. Perché?

Sinceramente, non l'abbiamo trovata. D'altronde non era facile, considerato il tema. Per la mancanza di una storia l'episodio sulla guerra è stato il più complesso da realizzare. E d'altronde dovevamo parlarne, per la sua importanza. Abbiamo dovuto far ricorso alla voce fuori campo e alle immagini di guerra, che per fortuna siamo riusciti ad ottenere.

Nel documentario però non emerge mai il disappunto per la guerra. Perché?

È stata una scelta. È facile, infatti, mettersi contro la guerra, il cui pensiero è inaccettabile sotto il profilo morale. Però se si controbatte in modo approssimativo si rischia di vedersi smontata la tesi dal proprio avversario. Per esempio, le armi robotiche sono comunque più precise di quelle tradizionali e fanno meno danni e meno vittime. L'interlocutore te lo potrebbe ricordare, smontando la tua argomentazione pacifista in un batter d'occhio. E ancora: dico a Ronald Arkin, il robotico statunitense esperto di guerra che abbiamo intervistato, che la guerra non è etica neppure con i robot. Lui controbatte facendomi notare che gli uomini la guerra se la sono sempre fatta, dalla notte dei tempi, quindi tanto vale fare meno vittime possibili utilizzando i robot. Credo che sui temi molto controversi, come quello della guerra, in un film sia meglio non schierarsi, inserendo soltanto qualche elemento di dubbio, lasciando che sia lo spettatore a tirare le somme.

C'è un'altra ragione per cui schierarsi contro le armi robotiche non è conveniente sotto il profilo comunicativo?

Sì, certamente. I robotici favorevoli alla guerra tecnologica sono molto preparati. Non solo. Ronald Arkin è anche un comunicatore di prim'ordine. Risponde brillantemente con frasi semplici e dirette alle domande più imbarazzanti, senza mai tirarsi indietro. È lui il primo a rilevare l'importanza delle questioni etiche, a dire che i robot servono per rendere meno cruenta la guerra. Anche Cino Robin Castelli, il direttore della *Macroswiss*, una società che produce armi robotiche, nell'intervista mette l'accento sulla questione umanitaria. A un certo punto del film dice che se si distrugge un robot nel corso di un'operazione di guerra lo si può sempre ricomperare, mentre la perdita anche di un solo uomo è irreparabile. Una

comunicazione di questo tipo ha un grande impatto emotivo sulla gente. Che senso avrebbe replicare.

È importante non far emergere il punto di vista del narratore?

Sì. Nel girare il film ho sempre fatto in modo che il mio punto di vista etico non emergesse mai. Ho sempre cercato di fare il possibile per delegare all'intervistato l'opinione. Anche con il montaggio ho seguito lo stesso stile. Per esempio, non ho mai fatto parlare uno scienziato favorevole alle armi robotiche e subito dopo uno scienziato pacifista che lo smentisse, o viceversa.

Cosa c'è che non va nel contraddittorio?

Nel qual caso è sempre il punto di vista del secondo interlocutore che emerge con più forza, e non quello del primo. Ho preferito il punto di vista dello spettatore: è lui che si deve fare un'idea personale sulle conseguenze morali delle applicazioni robotiche. Come regista non posso suggerire una soluzione, sarebbe facile, ma intellettualmente disonesto.

Perché avete utilizzato il simbolo della bomba atomica come riferimento alle conseguenze disastrose delle applicazioni tecnologiche?

In origine era prevista anche una parte dedicata alla clonazione umana. Rivedendola però ci è sembrata una sorta di ripetizione della bomba atomica. Diciamo che il dramma di Hiroshima e Nagasaki è sufficiente per porre l'accento sul fatto che qualcuno da certe atrocità c'è già passato. Aggiungere altro ci sembrava ridondante, didascalico. Quel simbolo a noi bastava. Anzi, in origine con la bomba atomica volevamo aprire il film. Ma avremmo caratterizzato troppo. Abbiamo allora scelto di farne l'epilogo, in modo da conferire lirismo. E poi c'è quella bellissima frase del fisico belga Jean Pierre Stroot: "*Non conosco un solo impiego della tecnologia che non abbia un'applicazione sia buona, sia cattiva, per la società*".

Dal film emerge la grande utilità dei robot frammista a forti elementi di preoccupazione. Come nell'immaginario collettivo, le macchine appaiono al contempo affascinanti e temibili. Non c'è troppa ambivalenza?

Mi fa piacere che il documentario suggerisca sia la celebrazione dei robot sia la loro pericolosità. Era nelle mie intenzioni comunicare questo messaggio. Ma non è stato facile, ho

dovuto convincere la Scuola di robotica. Gianmarco Veruggio desiderava che venisse fuori la roboetica, senza però alimentare paure. Temeva che mettendo in risalto la pericolosità dei robot ne scaturisse, come reazione del pubblico, il classico sentimento tecnofobico sulle macchine, rovina dell'umanità. D'altra parte per giustificare la necessità di una roboetica come regista avevo l'esigenza di mostrare l'intrinseca pericolosità dei robot. Che facessero anche paura era necessario ai fini della narrazione: uno spettatore generico non capisce perché ci si debba porre un problema morale se tutte le macchine sono buone. Veruggio desiderava una comunicazione rassicurante, io avevo necessità di creare tensione, paura. Alla fine si è convinto, ma forse la mediazione trapela nel film.

Non valeva la pena fare un film sulla robotica, citando l'etica soltanto tra le righe?

In parte lo abbiamo fatto. L'etica l'abbiamo diluita. Nel senso che non se ne parla direttamente, ma la si mostra nella narrazione. Sono stato io a insistere su questo concetto.

Come si fa in un film a parlare di etica della scienza senza parlarne direttamente?

Nell'episodio sulla protezione civile, quando si parla dei militari italiani in Afghanistan, si mostrano i robot sminatori utilizzati a scopi umanitari, senza entrare nel merito di giudizi morali. Ecco, lì c'è l'etica in bella mostra senza essere nominata. Anche a costo di qualche discussione io ho molto insistito sull'importanza di mostrare l'etica della scienza, senza parlarne direttamente. D'altronde, come regista non mi sono mai posto il problema di come l'immagine della roboetica emergesse dal film. Mi sono invece rivolto sempre la domanda: "È interessante per il pubblico? La trama si segue con facilità?"

Dalle prime interviste all'uscita del film sono trascorsi quattro anni. Perché la lavorazione è stata così lunga ?

Il film non ha alle spalle una produzione cinematografica classica. Abbiamo dovuto allungare i tempi perché tutti eravamo costantemente impegnati in tanti altri progetti che non potevano essere trascurarti. Non sapevamo neppure se e quando l'avremmo terminato il film.

Ci sono stati altri ostacoli alla produzione?

In origine il documentario prevedeva parti di cartone animato, foto d'epoca in bianco e nero, immagini televisive e cinematografiche. La mia idea era di unire più linguaggi possibili nel presentare i robot. Ma purtroppo ci siamo scontrati subito con la ricerca dei materiali e con il problema dei contratti da sottoscrivere per i diritti d'autore. È rimasto uno spezzone brevissimo del film *Metropolis*, basta un secondo in più per andare incontro a problemi legali.

A chi è rivolto il film?

A un pubblico generico, che sa ben poco dei robot di oggi, visto che se ne parla principalmente in termini futuristici. In particolare è rivolto a chi guarda i programmi delle emittenti satellitari. Ci siamo autoesclusi dal circuito del festival della scienza perché il film è troppo poco scientifico per loro!

Perché le emittenti satellitari e non la Rai, per esempio?

La scelta è obbligata. In Italia il mercato del documentario è limitatissimo. Le emittenti pubbliche ne trasmettono di rado e quei pochi sono per lo più di produzione estera. La Rai trasmette prevalentemente documentari d'autore, in tarda serata e sul terzo canale. Mediaset non ha documentari scientifici in programmazione, e così restano i satelliti. Devo dire però che se riuscissimo con la nostra versione inglese a vendere il documentario a un emittente straniera che lo mandasse in onda, per noi sarebbe comunque un successo. Ma è una corsa col tempo. Già il film come prodotto ha di per sé una vita breve, se poi parla di tecnologia restare attuali è impossibile.

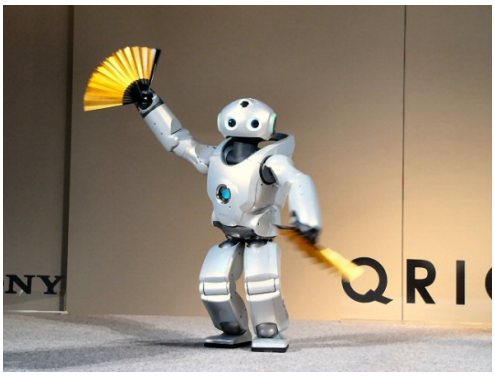
Appendice 2
Galleria fotografica

Robot umanoidi

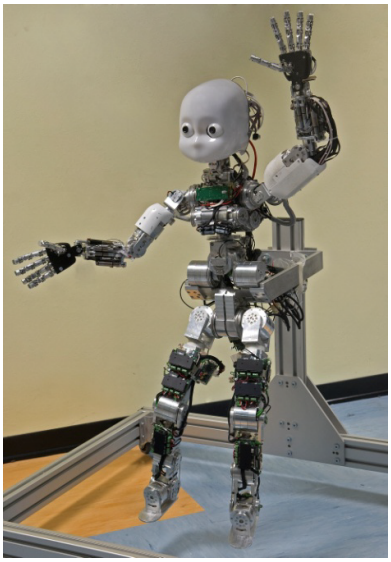
Asimo dirige l'orchestra sinfonica di Detroit. Acronimo di *Advanced Step in Innovative MObility*) nasce nei laboratori della Honda nel 2000 dopo una "gestazione" di circa 15 anni. È alto 120 centimetri, cammina, corre, sale e scende le scale, balla, sta in equilibrio su una gamba sola. Sa praticare anche il calcio, il baseball e il bowling e inoltre è in grado di riconoscere le persone, salutarle, chiamarle per nome e seguire oggetti in movimento.

Cb2 (2007, Università di Osaka), alto 130 centimetri, pesa 33 chili e la sua età corrisponde alla "nascita" a quella di un bambino di 18 mesi. Grazie a un sistema visivo, uditivo e tattile, sa acquisire nel tempo dati dalle esperienze compiute nell'ambiente circostante, come un bambino. È stato progettato per "crescere" fino all'età di 3 anni.

***HRP* II** danza il *Bandaisan*, il ballo tradizionale giapponese. L'umanoide è stato progettato nel 2007 da Shin'ichiro Nakaoka, allUniversità di Tokyo.



QRio (60 cm di altezza per 7,3 chili di peso, Sony, 2004 – 2006) è l'evoluzione del robot cagnolino ***Aibo***. Sa conversare, ricordare, riconoscere le voci e le persone ed esprimere in alcune occasioni il suo parere.



RobotCub (2008), nasce da un progetto europeo guidato da Giulio Sandini dell'Università di Genova. Obiettivo: studiare l'apprendimento infantile fino al terzo anno di età.

Q2, con il suo "papà" Hiroshi Ishiguro. Robot umanoide molto verosimile il cui volto ha l'aspetto di una tipica ragazza giapponese e che fa parte della serie di robot *Repliee* sviluppati all'Università di Osaka

Justin (2008) realizzato dall'*Agenzia spaziale tedesca* (DLR - *Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt*), è in grado di manipolare oggetto con due mani e con estrema precisione.

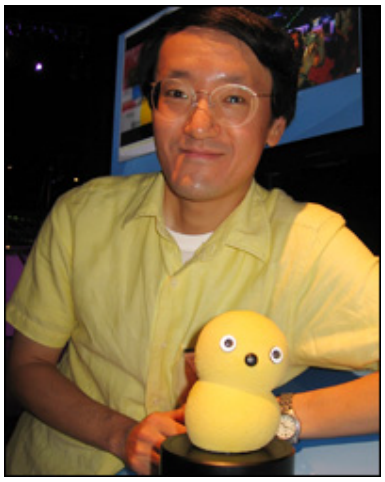
Hertz, con il suo ideatore David Hanson (il volto del robot è sul modello della sua fidanzata)

Robot per la terapia fisica e psicologica

Paro, il robot cucciolo di foca progettato da Takanori Shibata dell'*Istituto di Scienza e Tecnologia Avan zata* di Tokio, in collaborazione con Patrizia Marti dell'Università di Pisa. Pesa 2800 grammi, ha un aspetto di molto verosimile ed è impiegato in via sperimentale per la riabilitazione psicoterapica di persone con handicap, soprattutto bambini e anziani.

Henrik Hautop Lund, del *Maersk Institute for Production Technology* gioca con le **robot mattonelle** di sua creazione. Sviluppate con le reti neurali, interagiscono con chi le calpesta o le tocca illuminandosi.

Kaspar messo a punto dall' Università di Hertfordshire, in Inghilterra, è stato impiegato anche nella prevenzione del fenomeno del bullismo, molto diffuso in Gran Bretagna.



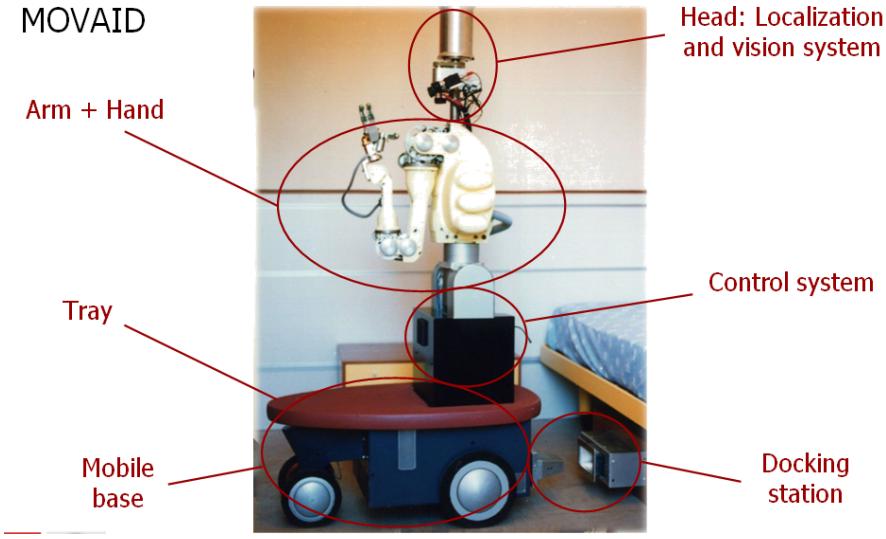
Lo psicologo Ideki Kozima usa il robot danzante ***Keepon*** per la terapia dei bambini autistici (sviluppato in Giappone dal *National Institute of Information and Communications Technology*)

In basso a destra ***Robota***, sviluppata dal LASA Laboratory, School of Engineering, EPFL, Lausanne Svizzera, dall'Università di Hertsfordshire (Gran Bretagna) e dall'Hopital de la Salpetriere di Parigi, Francia

Robot in medicina e nella riabilitazione

Da Vinci, il robot chirurgo prodotto in USA dal 1999 e usato per intervento di chirurgia generale e di microchirurgia quando si richieda un'estrema precisione

La **sedia a rotelle** intelligente



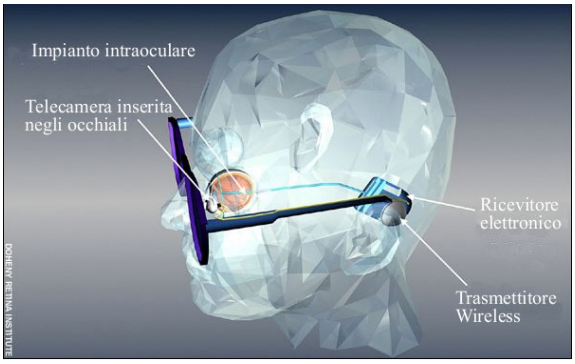
Movaid, il personal robot per i disabili

Impianti bionici

Il **braccio bionico** impiantato nel 2006 nella spalla di Claudia Mitchell, la giovane ex-soldatessa dell'esercito statunitense

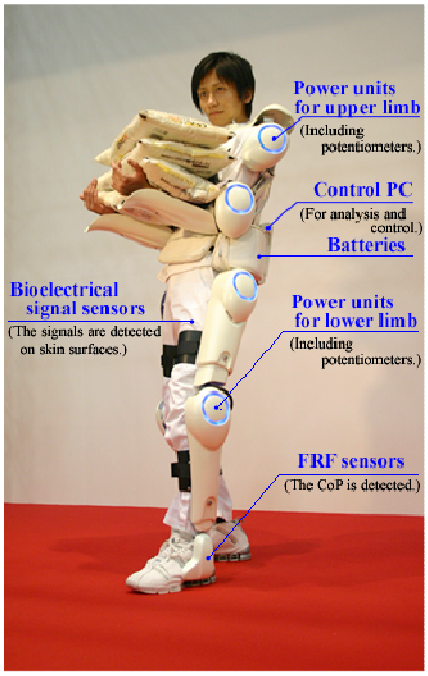
VeriChip, l'impianto RFID (radio-frequency identification) della società omonima messo a punto per l'identificazione dei dati personali e sanitari e approvato nel 2004 dalla Food and Drug Administration (Usa)

Il modello di **Argus II** Retinal Stimulation System, la protesi retinica messa a punto in California dalla società Second Sight ® Medical Products, Inc. , per ridare parzialmente la vista alle persone affette da retinopatia pigmentosa.



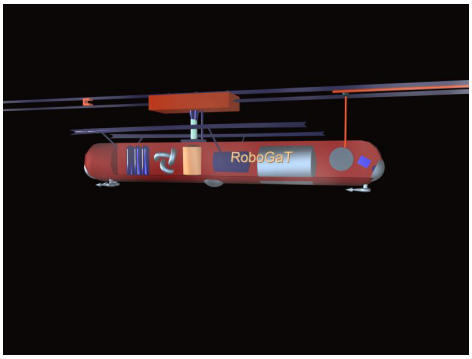
A destra ***HAL*** *(hybrid assistive limb)*, il robot vestito progettato da Yoshiyuki Sankai e prodotto nel 2008 dall'azienda giapponese *Cyberdyne*. È un esoscheletro che potenzia l'attività fisica umana.

A sinistra ***Bleex***, lo zaino militare intelligente messo a punto dall'Università di Berkeley, in California. Collegato alle terminazioni nervose delle gambe del soldato che non ne sente il peso.



Robot che non si notano

Robogat, progettato a Napoli da Domenico Patti e collaudato per la prima volta nel 2007. Sarà impiegato per spegnere incendi in gallerie, fabbriche e ovunque i vigili del fuoco non possano arrivare.



Sotto un **Mini UAV** da ricognizione usato dall'esercito statunitense. Gli ***UAV*** (*Unmanned Air Vehicle),* velivoli senza pilota, dotati di sistemi di registrazione di immagini e di rilevamento di dati. Nati dalla ricerca militare, ne esistono di varia dimensione e tipo, adibiti a compiti multifunzionali o a compiti specifici di spionaggio e supervisione.

Il **predator**, l'UAV da guerra utilizzato anche dalla Difesa italiana. Costruito da General Atomics Aeronautical Systems.

Un **robot veicolo** senza autista a bordo alla competizione *Urban Challenge* della DARPA (Usa)

Roomba il piccolo elettrodomestico che aspira e lava i pavimenti in modo autonomo dopo essere stato programmato nel suo orario di lavoro. Grazie a specifici sensori riconosce gli ostacoli e li evita. Non ama gli animali domestici.

Il sedile biometrico, progettato dal consorzio europeo Humabio, riconosce la persona che si mette seduta. Ha alcuni sensori collegati a un computer che misurano la pressione locale della "seduta" delle persone e poi l'associa automaticamente ai dati antropometrici di coloro che sono stati autorizzati a sedersi.

.

Microtransat, robot barca a vela progettata in Francia dall'Ensica, (Ecole nationale supérieure d'ingénieurs de constructions aéronautiques), partecipa a regate di robot.

Bibliografia

- **Abbagnano** Nicola, *Dizionario di filosofia*, Torino, Utet, 2001
- **Aristotele**, *La politica*, Firenze, Le Monnier, 1981
- **Arkin** Ronald C., *Governing Lethal Behavior: Embedding Ethics in a Hybrid Deliberative/Reactive Robot Architecture*, Atlanta, Georgia (Usa), 2007; documento prodotto dall'autore per la difesa statunitense (*Us Army*)
- **Asaro** Peter M., *Robots and Responsibility from a Legal Perspective, Atti del convegno ICRA07 IEEE, Conferenza mondiale di robotica e automazione, Workshop sulla roboetica*", 14 aprile 2007
- **Asimov** Isaac, *I robot*, New York, Doubleday, 1950 (trad. It.: *Io robot*, Milano, Bompiani, 1963)
- **Asimov** Isaac, *Runaround*, 1942, (in Asimov, I. *Robot Vision* New York, Penguin, 1991)
- **Augé** Marc, *Il dio oggetto*, Roma, Meltemi, 2002
- **Bar-Cohen** Yoseph, *Biomimetics: Biologically Inspired Technologies*, New York, CRC Press Book, 2006
- **Battistella** Cinzia, **Warwick** Kevin, *Quattro matrimoni e un funerale: problemi etici del futuro dell'interfaccia cervello-computer*, in *Ethicbots. Etica e robotica*, fascicolo monografico della rivista filosofica "Teoria", XXVII/2007/2, Pisa, Edizioni ETS, 2007
- **Billard** Aude, **Robins** Ben, **Nadel**, Jacqueline e **Dautenhahn** Kerstin, *Building Robot, a Mini-Humanoid Robot for the Rehabilitation of Children with Autism*, Lausanne (CH), EPFL, Ecole polytechnique Fédérale di Lausanne, 2006 (http://infoscience.epfl.ch/record/113920/files/)
- **Boella** Laura, *Sentire l'altro. Conoscere e praticare l'empatia*, Milan, Raffaello Cortina Editore, 2006
- **Boella** Laura, *Neuroetica, la morale prima della morale*, Milano, Raffaello Cortina, 2008
- **Borgna** Eugenio, *L'arcipelago delle emozioni*, Milano, Feltrinelli, 2001
- **Brooks** Rodney, *Flesh and Machine, How Robots will change us*, New York, Pantheon, 2002

- **Burattini** Ernesto e **Cordeschi** Roberto**,** *Intelligenza artificiale, Manuale per le discipline della comunicazione,* Roma, Carocci, 2001 (2ª ristampa 2008)
- **Čapek** Karel "R.U.R." (1920), Torino, Einaudi, 1971
- **Casals** Alicia (con **Amat** Josep), *Technology and Disability. The Cost, Efficiency and Acceptability trade off, Atti del convegno ICRA07 IEEE, Conferenza mondiale di robotica e automazione, Workshop sulla roboetica*", 14 aprile 2007
- **Collins** Henry e **Pinch** Trevor, *Il golem. Tutto quello che dovremmo sapere sulla scienza,* Bari, Dedalo, 1995
- **Cordeschi** Roberto e **Somenzi** Vittorio, *La filosofia degli automi. Origini dell'Intelligenza Artificiale,* Torino, Bollati Boringhieri, 1994
- **Cordeschi** Roberto e **Tamburrini** Guglielmo, *Intelligent machines and warfare: historical debates and epistemologically motivated concerns*, "*Proceedings of the European Computing and Philosophy Conference" (ECAP 2004),* College Publications, London, 2005, pp. 1-19
- **Dario** Paolo, *Biorobotica e biomeccatronica,* in Aa.Vv., *Treccani. Il libro dell'anno 2006,* Roma, Istituto dell'Enciclopedia Italiana, 2006, pg. 227
- **Decker** Michael, *Can Humans Be Replaced by Autonomous Robots?,* Atti del convegno ICRA07 IEEE, *Conferenza mondiale di robotica e automazione, Workshop sulla roboetica*", 14 aprile 2007
- **Dick** Philip K., *Do Androids Dream of Electric Sheep*? (1968), traduzione italiana a cui si fa riferimento: *Il cacciatore di androidi*, Milano, Editrice Nord, 1986
- **Foucault** Michel, *Surveiller et punir, Naissance de la prison*, Parigi, Editions Gallimard, 1975. Ed. it._ *Sorvegliare e punire. Nascita della prigione*, Torino, Einaudi, 1976.
- **Freud** Sigmund, *Das Unheimliche* (1919), in: *Gesammelte Werke* Bd. XII, Frankfurt am Main, 1999. Trad. It: *Il perturbante*, in "*Opere"*, 1917-1923, Torino, Boringhieri, 1986
- **Freud** Sigmund, *Tre saggi sulla teoria sessuale* (1905), Milano, Rizzoli, 1995
- **Galván** Josè M, *La robotica come speranza: la tecno-etica*, in: *La sfida del post-umano* (a cura di Ignazio Sanna), Roma, Ed. Studium, 2005
- **Galván** José Maria, *On technoethics*, in IEEE-RAS Magazine, 10 (2003/4) 58-63
- **Galván** José. M., *Can Bill Gates give us the reasons for hope?* Atti del convegno ICRA07 IEEE, *Conferenza mondiale di robotica e automazione, Workshop sulla roboetica*, 14 aprile 2007

- **Gee** F.C., **Browne**, W.N., **Kawamura** K., *Uncanny valley revisited*, in *Robot and Human Interactive Communication*, 2005, ROMAN 2005. IEEE International Workshop , agosto 2005, pg 151 -157
- **Goethe** J. Wolfgang., *Faust*, Torino, Einaudi, 1965
- **Gramsci** Antonio, *Quaderni dal carcere (1929- 1932)*, Torino, Einaudi, 2007
- **Gruppo europeo sull'etica nelle scienze e nelle nuove tecnologie della Commissione europea**, *Ethical Aspects Of Ict Implants In The Human Body*, (16/03/05) disponibile sul sito Internet della Commissione europea alla pagina: http://ec.europa.eu/european_group_ethics/docs/avis20_en.pdf
- **Harré** Rom, "*An Introduction to the Logic the Science*", Londra, Macmillan, 1977
- **Hoffmann** E.T.A., *Die Automate* (1822). Tr. it. "*L'Automa*", Roma, Edizioni Theoria, 1985
- **Hoffmann** E.T.A., *L'uomo della sabbia e altri racconti* (1816), Milano, Mondadori, 1987
- **IFR Statistical Department**, *World Robotics* 2008, *Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment Statistics*, Frankfurt, 2008 (http://www.worldrobotics.org/)
- **Iorio Giannoli** Giovanni, *Materializzazioni dell'anima, dai modelli dell'intelligenza all'intelletto sociale*, Roma, manifesto libri, 2003
- **Israel** Giorgio, *La macchina vivente*, Torino, Bollati Boringhieri, 2004
- **Jentsch**, Ernst, *Zur Psychologie des Unheimlichen*, in: *Psychiatrisch-neurologische Wochenschrift*, n. 22 (1906). Tr. It., "Sulla psicologia dell' *Unheimliche*", in AA. VV., "*La narrazione fantastica"*, Pisa, Nistri Lischi, 1983 (pp. 399 – 410)
- **Kant** Immanuel, *Critica della ragion pura* (1781-1787), Roma-Bari, Laterza, 2000
- **Kaplan** Louise J., *Falsi idoli. Le culture del feticismo*, Gardolo (TN), Centro studi Erickson, 2008
- **Kitano** Naho, *A comparative analysis: Social acceptance of robots between the West and Japan, EURON Atelier on Roboethics*, 2006
- **Kitano** Naho, *Animism, Rinri, Modernization*; *the Base of Japanese Robotics*, in atti del convegno mondiale *Ubiquitous Robotics, IEEE* Icra 2007
- **Landes** David S., *The Unbound Promoteus: technological Change And Industrial Development in Western Europe form 1750 to Present*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 2003
- **Levy** David, *Sex Love + Sex with Robots, The Evolution of Human-Robot Relationships*, New York, HarperCollins Publishers, 2007

- **Levy** David, *Robot Prostitutes as Alternatives to Human Sex Workers*, in atti del convegno mondiale *Ubiquitous Robotics, IEEE* Icra 2007
- **Longo** Giuseppe O., *Homo technologicus,*, Roma, Meltemi, 2001
- **Longo** Giuseppe O., *Il simbionte. Prove di umanità futura*, Roma, Meltemi, 2003
- **Longo** Giuseppe O., *L'etica la tempo dei robot*, Mondo Digitale, VI, 1, marzo 2007
- **Longo** Giuseppe O., *Una pulce sottopelle*", in: KOS, n. 238, luglio 2005, pagg. 34-39
- **Longo** Giuseppe.O., *Il cervello nudo*, Rovereto, Nicolodi, 2004
- **Losano** Mario G., *Storie di automi dalla Grecia classica alla bella époque*, Torino, Einaudi, 1990
- **Losano** Mario G., *Automi d'Oriente. Ingegnosi meccanismi arabi del XIII secolo*, Milano, Medusa, 2003
- **Lund** H. H., **Klitbo**, T.e **Jessen**, C., *Playware Technology for Physically Activating Play*, in "*Artificial life and Robotics Journal"*, Vol. 9. (2005)
- **Marchis** Vittorio, *Storia delle macchine, tre millenni di cultura tecnologica*, Bari, Laterza, 2005
- **Marx** Karl, *Das Kapital - Kritik der politischen Oekonomie* (1867-1883), tr. it. *Il capitale. Critica dell'economia politica*, Roma, Editori Riuniti, 1964 (Libro I, cap. 1, pag. 67)
- **Minsky** Marvin, *La società della mente*, Milano Adelphi, 1986
- **Mori** Marashiro, *Bukimi no tani*, in "*Energy*" (7, 33–35), Tokyo, 1970 (traduzione dal giapponese di **MacDorman** K. F. e **Minato** T.)
- **Mori** Masahiro, *The Buddha in the Robot: a Robot Engineer's Thoughts on Science and Religion*, Tokio, Kosei, 1981.
- **Norman**, Donald A., *The design of every day thinks*, Boston, MIT Press, 1998. (Edizione italiana: *Emotional design. Perché amiamo (o odiamo) gli oggetti di tutti i giorni*, Milano, Apogeo Editore, 2004)
- **Pioggia** Giovanni, **Ahluwalia** Arti, **Carpi** Federico, **Marchetti** Andrea, **Ferro** Marcello, **Rocchia** Walter, **De Rossi** Danilo, *FACE: facial automaton for conveying emotions*, in: *Applied Bionics and Biomechanics* 2004:1(2)
- **Pioggia** Giovanni, **Igliozzi** Roberta, **Ferro** Marcello, **Ahluwalia** Arti, **Muratori** Filippo, **De Rossi** Danilo, *An Android for Enhancing Social Skills and Emotion Recognition in People With Autism*, in IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering, VOL. 13, NO. 4, dicembre 2005
- **Pioggia** Giovanni, **Igliozzi** Roberta, **Sica** Maria Luisa, **Ferro** Marcello, **Muratori** Filippo, **Ahluwalia** Arti, **De Rossi** Danilo, *Exploring emotional and imitational android-based in-*

teractions in autistic spectrum disorders, in "Journal of CyberTherapy & Rehabilitation", Spring 2008, Volume 1, Issue 1

- **Previte** Roberto, **Tessitore** Giovanni, **Catanzariti** Ezio, **Tamburrini** Guglielmo, *Towards a Shared Action Code for Human-Robot Interaction*, in: *Informatics Education and Research for Knowledge-Circulating Society, ICKS 2008. International* , Volume , Issue , 17-17 Jan. 2008 Page(s):6 – 11
- **Rodotà** Stefano, *La vita e le regole. Tra diritto e non diritto*, Milano, Feltrinelli, 2006.
- **Salvini** Pericle, **Laschi** Cecilia, **Dario** Paolo, *Roboetica e biorobotica: discussione di alcuni casi di studio"*, in *Ethicbots. Etica e robotica*, fascicolo monografico della rivista filosofica "Teoria", XXVII/2007/2, Pisa, Edizioni ETS, 2007
- **Sanders** J.W., **Floridi** Luciano (Information, Ethics Groups, University of Oxford), *On the morality of Artificial Agent*, in **Minds and Machines,** Volume 14 , Issue 3 (August 2004)
- **Schomberg** (von) René, *From the Ethics of Technology towards an Ethics of Knowledge Policy & Knowledge Assessment A working document from the European Commission Services*, gennaio 2007, Bruxelles, Commissione europea
- **Schomberg** (von) René, *The precautionary principle and its normative challenges*, in: Fisher *E.*, Jones J, von Schomberg R, *Implementing the Precautionary Principle: Perspectives and Prospects*, 2006, Cheltenham, UK and Northampton, MA, US: Edward Elgar, (capitol 2. p19-42)
- **Shelley** Mary, *Frankenstein, o il Prometeo moderno*, Milano, Rizzoli, Bur (II ed.), 2006
- **Siciliano** B., *The future of robotics in medicine and health, Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe — CIRSE 2006 – Invited Lecture*, Rome, Italy, Sep. 2006
- **Siciliano** B., *DEXterous and autonomous dual-arm/hand robotic manipulation with sMART sensory-motor skills: A bridge from natural to artificial cognition, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Tutorial: Is human-like dexterous manipulation within our robotic grasp?*, Pasadena, CA, May 2008
- **Siciliano** B., *Status and perspectives of robotics, " International Symposium: Robotics: A New Science*, Accademia dei Lincei, Roma, Italy, Feb. 2008
- **Siciliano** Bruno e **Khatib** Oussama (cura di), *Springer Handbook of Robotics*, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2008
- **Siciliano** Bruno, **Sciavicco** Lorenzo, **Villani** Luigi, **Oriolo** Giuseppe, *Robotica - Modellistica, pianificazione e controllo* (3a ed.), Milano The McGraw-Hill (Italia), 2008

- **Sinigaglia** Corrado, **Rizzolatti** Giacomo, *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio*, Milano, Raffaello Cortina editore, 2006
- **Tamburrini** Guglielmo e **Lucivero** Federica "*Sul monitoraggio etico delle interfacce cervello-macchina*" in *Ethicbots. Etica e robotica*, fascicolo monografico della rivista filosofica "Teoria", XXVII/2007/2, Pisa, Edizioni ETS, 2007
- **Tamburrini** Guglielmo, *Brain to Computer Communication: Ethical Perspectives on Interaction Models*, articolo in corso di pubblicazione
- **Van der Loos** H. F. Machiel, *Ethics by Design: A Conceptual Approach to Personal and Service Robot Systems*, in atti del convegno mondiale *Ubiquitous Robotics, IEEE* Icra 2007
- **Veruggio** Gianmarco **e Operto** Fiorella, *Roboethics: Social and Ethical Implications of Robotics, Springer Handbook of Robotics*, Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2008
- **Veruggio Gianmarco**, EURON (*European Robotic Research Network*) *Roboethics Roadmap*, Genova, 2007
- **Wiener** Norbert, *God and Golem, A Comment on Certain Points where Cybernetics Impinges on Religion***,** Boston, Mit press Paperback editions, 1964
- **Yoshida** Mitsukuni, *The culture of ANIMA – Supernature in Japanese Life*, Hiroshima, Mazda Motor Corp, 1985