

premio Antonio Feltrinelli dell'Accademia dei Lincei (2000), il premio Herlitzka dell'Accademia delle scienze di Torino (2005), il Grawemayer award dell'University of Louisville (2007), il premio Jean-Louis Signoret in neuropsicologia della Fondazione IPSEN (2010), il premio Principe delle Asturie (2011), il Brain prize della Grete Lundbeck European brain research foundation di Copenhagen (2014), assegnatogli «per la ricerca pionieristica sui meccanismi cerebrali che sottendono alle funzioni umane complesse come alfabetizzazione, abilità di calcolo, cognizione e comportamento, e gli sforzi di comprensione dei disturbi cognitivi e comportamentali».

Nel 1961 si è laureato in medicina all'Università di Padova, in seguito specializzandosi in neurologia. Presso l'Università di Parma, dal 1975 è professore di fisiologia umana e dal 2002 direttore del Dipartimento di neuroscienze. È inoltre coordinatore del Brain center for social and motor cognition dell'Istituto italiano di tecnologia (IIT). Nell'attività di ricerca condotta da R., il principale interesse è stato lo studio delle funzioni cognitive dei neuroni della corteccia motoria. Agli inizi degli anni Novanta del 20° sec., esaminando le proprietà della corteccia cerebrale premotoria di macaco, ha scoperto un tipo di neuroni capaci di attivarsi sia quando l'animale esegue semplici movimenti finalizzati a uno scopo (come afferrare un oggetto), sia quando l'animale guarda un altro individuo eseguire lo stesso movimento. A questi neuroni è stato dato il nome di *neuroni specchio* proprio perché sembrano riflettere le azioni eseguite da un soggetto nel cervello di chi lo osserva. Successivamente R. ha individuato i neuroni specchio anche nel cervello umano, in due settori della corteccia cerebrale: il lobo parietale inferiore e il giro frontale inferiore. Oltre a rappresentare la prima evidenza di un meccanismo neurofisiologico in grado di spiegare alcuni aspetti di base della nostra intelligenza sociale, come la capacità di comprendere le emozioni e le sensazioni altrui, la scoperta dei neuroni specchio ha numerose altre ricadute: infatti, sembra che anche il linguaggio possa avere legami con questo meccanismo, così come determinati disordini comportamentali, per es. l'autismo.

Tra le sue opere letterarie più recenti: *So quel che fai. Il cervello che agisce e i neuroni specchio* (2006), in collaborazione con Corrado Sinigaglia; *Nella mente degli altri. Neuroni specchio e comportamento sociale* (2007), in collaborazione con Lisa Vozza.

Paola Vinesi

**ROBOTICA.** – GLI SVILUPPI DELLA ROBOTICA. PROGRESSI NEI COMPONENTI E NEGLI ALGORITMI PER LA ROBOTICA. SVILUPPO DELLE APPLICAZIONI DELLA ROBOTICA INDUSTRIALE E DI SERVIZIO. Bibliografia

La r. si occupa della progettazione, della realizzazione e dell'impiego dei robot. I robot sono macchine complesse dotate di autonomia di movimento e ragionamento per lo svolgimento di compiti di varia natura, programmabili tramite computer e in grado di eseguire azioni guidate da informazioni sensoriali. A questa definizione tecnica si preferisce spesso una concezione molto più ampia e suggestiva: il robot come 'connessione intelligente tra percezione e azione'. In essa sono raccolti tutti gli aspetti caratteristici dei robot moderni, dall'uso generalizzato di sensori per raccogliere dati ed elaborare informazioni dall'ambiente esterno, al processo deduttivo e autonomo partendo da questi dati e confrontando lo stato corrente con gli obiettivi e i compiti assegnati, fino alle decisioni da prendere in tempo reale sui movimenti e le azioni da eseguire.

*Gli sviluppi della robotica.* – Da un punto di vista scientifico, la r. è maturata negli ultimi cinquant'anni come disciplina unitaria, sebbene con contenuti trasversali. In un robot, infatti, si coniugano varie conoscenze ingegneristiche: la meccanica per la locomozione e la manipolazione, l'energetica dei motori elettrici e degli attuatori pneumatici, l'elettronica dei sensori, le strutture informatiche per il calcolo e la memorizzazione, l'automatica per il controllo del movimento in feedback. Accanto a queste, sono però altrettanto rilevanti gli aspetti psicocognitivi legati all'apprendimento e al ragionamento, gli studi sulle competenze sociali sfruttati nella comunicazione robot-utente, o la riproduzione di comportamenti e funzioni ispirati alla biologia, in modo da favorire l'adattamento del robot ai diversi ambienti in cui opera.

Con i primi manipolatori industriali costruiti nel decennio 1960-70, la r. ha risposto al bisogno di macchine utili e affidabili che sostituissero gli operatori umani in compiti ripetitivi o pericolosi, e che avessero al contempo un impiego più flessibile rispetto alle macchine automatizzate CNC (*Controllo Numerico Computerizzato*), specializzate viceversa in singole operazioni. Dalla sintesi di diverse tecnologie, i robot, di fatto dei bracci meccanici articolati, hanno portato all'automazione di molteplici operazioni e compiti del processo produttivo, soprattutto in ambito manifatturiero. Le caratteristiche principali dei robot industriali continuano a essere anche oggi l'elevata velocità, la precisione e la ripetibilità, accanto a una programmabilità sempre più ampia.

D'altro canto, i robot antropomorfi hanno da sempre rappresentato il desiderio dell'uomo di replicare se stesso. Il paradigma di un automa cibernetico con capacità motorie, sensoriali e intellettive analoghe o superiori a quelle umane, che ci possa aiutare o sostituire in compiti faticosi o noiosi, e con cui interagire in modo naturale, ha a lungo ispirato la letteratura e la filmografia fantascientifica. La stessa parola *robot* (da una radice slava che vuol dire «lavoro») è stata introdotta nel 1920 in una *pièce* teatrale (*R.U.R.*) del drammaturgo ceco Karel Čapek. La prima vera risposta della ricerca e della tecnologia robotica a queste attese è stata data solo all'inizio di questo secolo, con la realizzazione del robot umanoide Asimo della Honda.

Un senso dell'enorme sviluppo che ha avuto la r. negli ultimi cinque decenni si può cogliere dal confronto del primo robot a base mobile controllato da un computer e dotato di autonomia, l'ancora 'traballante' Shakey, sviluppato dallo Stanford Research Institute nel 1970, con le prestazioni di robot aspirapolvere a basso costo attualmente in commercio, che eseguono il loro lavoro di pulizia esplorando da soli ambienti domestici complessi e variabili; oppure, con le capacità delle automobili che parcheggiano automaticamente in spazi ristretti e, a breve termine, dei veicoli di trasporto personale (per ora ancora prototipi, come la Google car), in grado di percorrere migliaia di chilometri navigando autonomamente e in sicurezza in tutte le condizioni ambientali e di traffico.

Secondo i dati del World robotics report del 2014, i robot industriali operativi nel mondo sono circa 1,5 milioni, di cui oltre la metà nel continente asiatico, con un ricambio di 200.000 nuove unità l'anno (la vita media di un robot industriale è di 12-15 anni), previsto in leggera crescita. Un parametro interessante è quello della 'densità' dei robot industriali rispetto agli addetti umani in un dato settore. Per es., l'Italia si colloca al quinto posto per densità nel settore manifatturiero, dietro Repubblica di Corea, Giappone, Germania e Svezia, con oltre 150 robot ogni

10.000 addetti. Da un punto di vista statistico, questi dati seguono abbastanza fedelmente i principali indicatori economici dei Paesi più industrializzati, come pure i fattori di crescita o di ristagno dei settori in cui la robotizzazione è più pronunciata (per primo quello automobilistico, seguito dal settore della componentistica elettronica ed elettromeccanica, quello della lavorazione dei metalli, della gomma e plastica, e dell'industria alimentare).

Accanto al mercato più tradizionale della r. industriale, si sta rapidamente sviluppando quello della *robotica di servizio*, termine che include tutte le applicazioni non industriali sia per attività professionali (manipolatori per uso medico, robot per la sorveglianza, robot sottomarini o per l'agricoltura), sia per attività domestiche e uso personale. Nel 2013, sono stati immessi sul mercato 21.000 robot per attività di servizio professionale e la stima per il triennio 2014-17 è di oltre 130.000 nuove unità. Ma è la r. domestica e personale quella per cui si prevede un'espansione più eclatante in un futuro ormai non troppo lontano. Si pensa a robot che svolgeranno al nostro servizio le più comuni attività quotidiane, in stretta collaborazione con gli utenti umani e quindi in condizioni di massima sicurezza e affidabilità e interagendo attraverso modalità naturali (voce, gesti, contatti). A questa visione ha fatto riferimento anche Bill Gates, uno dei padri della rivoluzione informatica (*A robot in every home*, «Scientific American», genn. 2007, pp. 58-65), prevedendo uno sviluppo dei personal robot e un impatto sulla società più o meno analogo a quello che si è avuto con i personal computer nei precedenti due decenni. In modo simile, gli organizzatori della *RoboCup*, una delle competizioni scientifiche tra robot umanoidi, hanno come obiettivo per il 2050 quello di avere una squadra di robot calciatori in grado di battere una squadra composta da persone.

Nel seguito sono brevemente descritti alcuni aspetti tecnologici emergenti nei robot dell'attuale e prossima generazione e i principali sviluppi nelle applicazioni in ambito industriale e di servizio.

*Progressi nei componenti e negli algoritmi per la robotica.* – Il progetto delle componenti meccaniche dei robot si è andato orientando verso strutture articolate leggere, ma con materiali sufficientemente rigidi da garantire un'elevata precisione di posizionamento, che permettano una riduzione dei consumi energetici assieme a una maggiore destrezza e velocità nei movimenti. La locomozione avviene tramite basi mobili con ruote (convenzionali o omnidirezionali) o su gambe (robot bipedi o con 4-6 gambe). I sistemi di attuazione dei robot industriali fanno ormai ricorso prevalente a motori elettrici a corrente alternata senza spazzole (*brushless*), con ridotti problemi di manutenzione, prestazioni uniformi (grazie a comandi di controllo più sofisticati) e potenze in grado di movimentare un carico utile anche di qualche centinaio di chili.

Un aspetto particolare riguarda l'introduzione di elementi di trasmissione del moto che siano intenzionalmente cedevoli. Questa scelta permette di assorbire passivamente urti accidentali (per la sicurezza d'uso) ovvero di accumulare progressivamente energia elastica per realizzare movimenti esplosivi anche con attuatori di potenza limitata (migliori prestazioni dinamiche). Per modulare queste due

caratteristiche complementari ci si è ispirati al comportamento agonista/antagonista della muscolatura umana, inserendo due motori per ciascun giunto, al fine di ottenere una cedevolezza variabile. Un esempio concreto di applicazione di questi concetti innovativi è la mano SoftHand dell'Università di Pisa (fig. 1). Rispetto alla complessità delle precedenti mani robotiche, questa struttura antropomorfa utilizza un solo motore (sotto-attuazione) e ha tutte le trasmissioni cedevoli che si adattano passivamente alle forme svariate degli oggetti da prendere.

I sensori propriocettivi dei manipolatori robotici si sono ridotti ai soli *encoders* per la misura della posizione dei giunti, ora con risoluzione angolare molto elevata (fino a 36.000 impulsi/giro negli *encoders* incrementali). In presenza di trasmissioni cedevoli, ci sono anche dei sensori di coppia elastica ai giunti. Robot mobili di natura diversa, come quelli sottomarini o volanti, dispongono di altri sensori specifici, per es. unità inerziali (IMU) per la misura dell'assetto. Anche le prestazioni e i rapporti qualità/prezzo della sensoristica esterolettiva (integrata a bordo del robot o posizionata nell'ambiente) sono molto migliorati. Sono ora molto più diffusi nei robot i sistemi di visione (stereo/colore), quelli di misura della distanza (laser, ultrasuoni, infrarossi), i sensori combinati di visione e profondità (RGB-D), i sensori di forza/coppia al polso e quelli tattili distribuiti. Non meno rilevante è stato il progresso negli organi di calcolo, sempre più potenti e compatti, necessari a gestire con vincoli stringenti di tempo reale la complessità crescente dei sistemi robotici e dei relativi compiti da affrontare in autonomia. Si usano spesso componenti modulari e distribuiti, connessi a Internet, con sistemi operativi e programmi *open source* (quali Linux e il middleware ROS, *Robot Operating System*). Maggiore attenzione è data alle applicazioni a basso costo (gestibili con sistemi tipo Arduino) e allo sviluppo di componenti elettronici in scala micro o nano (per es., per la r. medica all'interno del corpo umano).

Da un punto di vista dei metodi e degli algoritmi per la r., tra i numerosi risultati scientifici raggiunti negli ultimi anni, si segnalano: 1) un approccio efficiente al problema della localizzazione e della simultanea mappatura dell'ambiente (SLAM, *Simultaneous Localization And Mapping*). Questo problema è al cuore dell'autonomia di un robot mobile e la sua soluzione è alla base degli attuali algoritmi di esplorazione e navigazione. Il robot parte da una conoscenza *a priori* (eventualmente nulla) sull'ambiente e usa incrementalmente i propri sensori per stimare in modo ricorsivo sia la posizione delle caratteristiche naturali o artificiali

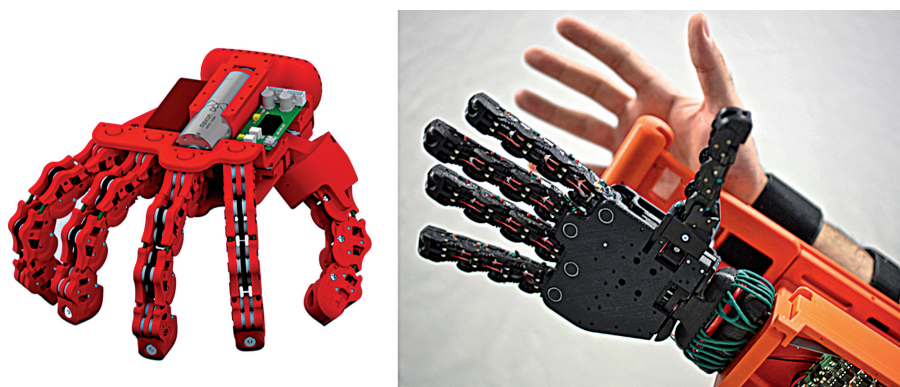


Fig. 1 – LA MANO ROBOTICA SOFTHAND DELL'UNIVERSITÀ DI PISA  
(per cortesia Antonio Bicchi)





Fig. 2 – IL ROBOT UMANOIDE iCUB  
(fot. Duilio Farina/per cortesia Istituto italiano di tecnologia)

presenti nella mappa dell'ambiente sia la propria posizione relativamente a esse; 2) l'impiego di metodi probabilistici randomizzati per la soluzione di problemi di pianificazione del moto tra ostacoli per robot con elevato numero di gradi di libertà. Tali problemi sono intrattabili da un punto di vista della loro complessità computazionale (con crescita non polinomiale in funzione della dimensione del problema) mediante metodi deterministici. L'uso di semplici tecniche randomizzate, insieme a diverse euristiche di ricerca, ha permesso viceversa di trovare soluzioni in modo molto rapido, anche nel caso di ambienti pieni di ostacoli e con passaggi liberi molto ristretti.

**Sviluppo delle applicazioni della robotica industriale e di servizio.** – In molti settori industriali, l'efficienza nell'automazione che impiega i robot al posto degli operatori umani si è spinta fino a limiti strutturali. Alcuni miglioramenti si possono ancora avere nelle modalità con le quali vengono programmati compiti complessi. Il robot può essere infatti istruito attraverso interfacce uomo-macchina più intuitive e di natura multimodale (gesti, voce). Una nuova sfida riguarda invece la possibilità di collaborazione diretta tra uomo e robot. Alcuni compiti complessi possono essere eseguiti al meglio e più rapidamente solo combinando la naturale adattabilità degli esseri umani alla precisione e forza dei robot. Questa operatività richiede però la condivisione dello spazio di lavoro uomo-robot e lo sviluppo di capacità di coesistenza che soddisfino nuovi standard di sicurezza. Il monitoraggio dell'ambiente avviene mediante un sensore di visione e profondità, i cui dati consentono il calcolo in tempo reale delle distanze tra robot e ostacoli ambientali. Tale informazione guida opportuni algoritmi di controllo reattivo del moto del robot, in grado di garantire l'assenza di collisioni e di contatti indesiderati.

Il problema dell'interazione fisica e cognitiva tra robot ed esseri umani è rilevante anche nelle applicazioni della r. di servizio. In ambito di r. medica, le protesi robotiche, come anche gli esoscheletri indossabili per la riabilitazione, prevedono un contatto e uno scambio di forze continuo tra struttura robotica e parti del corpo umano. Nei sistemi per la chirurgia robotica, il robot è posto, da un lato, in contatto fisico con il paziente e, dall'altro, tramite un'interfaccia aptica (ossia atta a ricercare informazioni tattili), è in contatto con il chirurgo.

L'autonomia del robot, intesa come capacità di pianificare compiutamente le proprie azioni in condizioni di totale isolamento o in ambienti estremi, è cruciale nelle missioni di r. spaziale, planetaria o sottomarina. Condizioni analoghe si hanno nell'impiego di robot o droni in operazioni di ricerca e salvataggio (a seguito di catastrofi naturali o per operazioni militari), in cui alcune attività sono però tipicamente teleoperate. Un problema critico è quello della responsabilità morale e oggettiva nelle decisioni prese in autonomia dai robot. La robotica sarà un tema di importanza fondamentale nel prossimo futuro. Un aspetto ulteriore della ricerca nella r. personale riguarda l'impiego sociale di robot umanoidi, per es. con finalità di assistenza agli anziani, in una società in progressivo invecchiamento. Oltre alle capacità di movimento, ai robot umanoidi come l'iCub (fig. 2), si richiederà soprattutto abilità nell'interagire con esseri umani, comunicando in un linguaggio naturale fino a esprimere le emozioni.

**BIBLIOGRAFIA:** H. CHOSSET, K. LYNCH, S. HUTCHINSON ET AL., *Principles of robot motion: theory, algorithms, and implementation*, Cambridge 2005; S. THRUN, W. BURGARD, D. FOX, *Probabilistic robotics*, Cambridge 2005; *Springer handbook of robotics*, ed. B. Siciliano, O. Khatib, Berlin-Heidelberg 2008; B. SICILIANO, L. SCIAVICCO, L. VILLANI, G. ORIOLO, *Robotica: modellistica, pianificazione e controllo*, Milano 2010; P. CORKE, *Robotics, vision and control: fundamental algorithms in MATLAB*, in *Springer tracts in advanced robotics*, 73° vol., Berlin-Heidelberg 2011; IEEE spectrum, *Robots: a richly interactive iPad app featuring the world's most amazing robots*, <http://robotsapp.spectrum.ieee.org/> (2 sett. 2015).  
Alessandro De Luca



**ROMANIA.** – DEMOGRAFIA E GEOGRAFIA ECONOMICA. STORIA. ARCHITETTURA. LETTERATURA. Bibliografia. CINEMA

**DEMOGRAFIA E GEOGRAFIA ECONOMICA.** – Stato dell'Europa orientale. La popolazione della R., che era secondo un censimento del 2011 di 20.121.641 ab., è di 21.640.168

ab. secondo una stima UNDESA (*United Nations Department of Economic and Social Affairs*) del 2014, con una densità media piuttosto bassa (90,5 ab./km<sup>2</sup>). Prosegue la tendenza al decremento demografico registrata a partire dalla metà degli anni Novanta del secolo scorso e dovuta a un incremento naturale tendenzialmente negativo (−3,5% nel periodo 2010-15), unito a un'emigrazione lenta e costante verso i Paesi confinanti, specialmente dopo l'ingresso nell'Unione Europea (UE), avvenuto formalmente il 1° gennaio del 2007. Il Paese si presenta scarsamente urbanizzato: solo il 54% della popolazione risiede in città e l'unico centro urbano di un certo rilievo è rappresentato dalla capitale, Bucarest (1.883.425 ab. nel 2011), mentre Cluj-Napoca, seconda città per popolazione e polo economico del Nord-Ovest, non supera i 325.000 abitanti. Dal punto di vista etnico, il censimento del 2011 ha confermato in linea di