

Robot umanoidi o robot umani?

Quando la robotica imbecca nuove direzioni di ricerca, affrontando gli aspetti degli organismi viventi.

■ **Domenico Parisi**, Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione - CNR
domenico.paris@istc.cnr.it

ROBOT COME TEORIE

Cominciamo dalle due domande fondamentali: Che cosa è un robot? A che cosa serve un robot?

Un robot è qualcosa di fisico, costruito da noi, che somiglia a un organismo vivente e si comporta come un organismo vivente. Gli organismi viventi comprendono gli animali e le piante, ma i robot riproducono gli animali piuttosto che le piante, anche se ci sono tentativi di costruire robot-piante. Comportarsi come un animale significa avere degli organi sensoriali con cui ricevere informazioni dall'ambiente e degli organi motori che permettono di spostarsi nell'ambiente o di muovere una qualche parte del proprio corpo, ad esempio la testa o un braccio, in maniera non programmata, ma autonoma, cioè rispondendo agli stimoli che arrivano momento per momento ai sensori del robot. Questo risponde alla domanda "Che cosa è un robot?".

Ora chiediamoci: A che cosa serve un robot? Perché costruiamo robot?

Qui le risposte sono varie perché si possono costruire robot avendo scopi diversi. Però gli scopi fondamentali sono due. Il primo è realizzare una qualche applicazione utile e che possa avere un valore economico. Conosciamo da tempo i robot industriali, che servono a trasferire dall'uomo alla macchina i lavori ripetitivi della produzione industriale, con una serie di ovvi vantaggi. Ma oggi si fa un gran lavoro di esplorazione e di ricerca per trovare nuove applicazioni dei robot, dai robot che puliscono la casa o il fondo della piscina o che tengono in ordine il giardino, ai robot che aiutano le persone anziane o

malate, dai robot chirurgici a quelli impiegati in agricoltura, in compiti di sorveglianza o in operazioni militari. Poi ci sono le applicazioni dei robot in campo educativo, nel settore della divulgazione scientifica o dell'intrattenimento, oppure più semplicemente i robot vengono costruiti per fare pubblicità alla ditta che li ha costruiti.

Il secondo scopo per cui vengono costruiti i robot è diverso. Non è uno scopo pratico, non ha in vista applicazioni utili, almeno nell'immediato. I robot vengono costruiti in quanto sono un nuovo modo di esprimere le teorie scientifiche. Tradizionalmente le teorie scientifiche sono espresse in due modi: usando le normali parole, magari con qualche ridefinizione dei termini, oppure usando i simboli della matematica, sotto forma di equazioni e di sistemi di equazioni. Le scienze della natura, e in particolare la fisica, formulano le loro teorie in modo matematico. Le scienze che studiano gli esseri umani e le società umane non riescono ad avere teorie matematiche e quantitative (con alcune eccezioni, come l'economia) e perciò le formulano a parole, verbalmente. I robot sono un terzo modo di esprimere le teorie della scienza. La teoria viene incorporata nel robot, nel senso che i concetti, le idee e le ipotesi in cui consiste la teoria sono quello su cui ci si basa per costruire il robot. Il robot è la teoria. Dato che i robot riproducono il comportamento degli organismi, si tratta di teorie che hanno come oggetto il comportamento degli organismi, incluso quello degli esseri umani e, con la robotica collettiva, anche quello di gruppi di organismi e delle società umane. I robot

sono molto simili alle simulazioni, programmi che girano nel computer e che riproducono qualche aspetto o processo della realtà. La differenza è che le simulazioni restano dentro al computer, mentre i robot sono simulazioni realizzate fisicamente.

Che vantaggio c'è a esprimere le teorie incorporandole in un robot o in un gruppo di robot? Le teorie espresse a parole sono spesso puramente intuitive, poco dettagliate, ambigue, nel senso che i termini che usano significano cose diverse per persone diverse. E, soprattutto, dalle teorie espresse a parole è difficile derivare in modo chiaro e non controverso delle specifiche predizioni da confrontare con i fatti osservati e i dati empirici. Le teorie espresse in modo matematico non hanno questi difetti, ma hanno il difetto che si applicano solo ad alcuni dei fenomeni della realtà, quelli studiati dalle scienze della natura. I vantaggi delle teorie espresse come robot sono due. Il primo è che non hanno i difetti delle teorie espresse a parole. Una teoria espressa come un robot è necessariamente chiara, dettagliata e non ambigua, perché altrimenti non si riesce a costruire il robot. Inoltre, da una teoria espressa come un robot derivano necessariamente molte e specifiche predizioni da confrontare con i dati empirici, dato che i comportamenti del robot non sono altro che le previsioni empiriche derivate dalla teoria su cui ci si è basati per costruire il robot. L'altro vantaggio di esprimere le teorie costruendo robot, questa volta un vantaggio rispetto alle teorie matematiche, è che sono teorie che possono avere per oggetto anche fenomeni della realtà per cui non è possibile formulare teorie matematiche. Perciò le teorie robotiche sono importanti per le scienze che studiano il comportamento umano e le società umane, le cui teorie fino ad oggi sono quasi sempre state soltanto verbali e non quantitative, e di conseguenza hanno sofferto dei limiti tipici delle teorie verbali.

Ora che abbiamo risposto alle due domande iniziali, poniamoci una terza domanda: Che cosa vuol dire costruire un robot?

Fino ad oggi la tecnologia e l'ingegneria hanno costruito i loro artefatti - un ponte, un'automobile, un telefono cellulare - progettandoli nei minimi particolari e poi realizzando fisicamente il progetto. Questo modo di costruzione non può andare bene nel caso dei robot. I robot vogliono riprodurre gli organismi viventi, e gli organismi viventi non "si costruiscono" così. Gli organismi "si costruiscono" attraverso processi

quali l'evoluzione biologica, l'apprendimento individuale e, nel caso degli esseri umani, anche la trasmissione e l'evoluzione culturale. È difficile realizzare un robot che si comporti come un organismo vivente se il modo di costruzione del robot non riproduce quello degli organismi viventi. È per questo che la robotica oggi non ha solo l'obiettivo di costruire robot che abbiano le stesse caratteristiche degli organismi viventi, ma ha anche l'obiettivo di riprodurre il modo, anzi i diversi modi, in cui gli organismi viventi vengono ad avere le caratteristiche che hanno. La robotica evolutivista usa popolazioni di robot uno diverso dall'altro, che vivono in un determinato ambiente, che hanno una vita di durata che varia da individuo a individuo, e che si riproducono selettivamente, cioè con alcuni robot che fanno più figli di altri. I figli ereditano il materiale genetico dei genitori, ma non hanno esattamente lo stesso materiale genetico dei genitori perché ci sono le mutazioni casuali che in parte lo modificano; e poi il materiale genetico di un robot figlio è una nuova combinazione di parti del materiale genetico del robot madre e di parti di quello del robot padre. La riproduzione selettiva e l'aggiunta costante di nuova variabilità a causa delle mutazioni casuali e della ricombinazione sessuale, fanno emergere comportamenti nuovi nel succedersi delle generazioni. Inoltre, una volta nati, i robot interagiscono con l'ambiente in cui vivono e come risultato di queste interazioni apprendono nuovi comportamenti. E infine, nel caso dei robot che vogliono replicare gli esseri umani, la robotica culturale fa in modo che i robot apprendano nuovi comportamenti imitando altri robot, realizzando così un processo di trasmissione culturale da una generazione all'altra analogo a quello della trasmissione genetica. Come la trasmissione genetica, anche la trasmissione culturale porta a comportamenti nuovi perché, come la trasmissione genetica, è accompagnata da selettività, dato che non tutti i comportamenti vengono ugualmente imitati, e l'imitazione è sempre accompagnata da qualche forma di innovazione.

Oggi i robot vengono costruiti anche per scopi puramente scientifici, cioè come strumenti per capire meglio il comportamento degli organismi e per formulare teorie del comportamento che siano più chiare e operative. Tuttavia quelli che prevalgono, non fosse altro che per motivi economici, sono gli scopi pratici, applicativi: i robot come artefatti tecnologici aventi applicazioni utili e

valore economico. Questo fatto costituisce un ostacolo allo sviluppo della robotica avente scopi scientifici, che deve percorrere strade che, almeno oggi, non sembrano portare ad applicazioni utili e perciò vengono percorse ancora poco. Ma la robotica è uno strumento molto potente per conoscere e capire il comportamento degli organismi, e c'è da aspettarsi, o almeno da augurarsi, che i robot futuri percorreranno sempre di più queste strade, anche perché queste nuove strade potranno suggerire nuove applicazioni a cui oggi non pensiamo neppure.

ROBOT UMANOIDI O ROBOT UMANI?

Quali sono allora le nuove direzioni verso cui deve indirizzarsi la robotica se deve diventare un importante nuovo strumento per studiare e capire il comportamento degli organismi e, più specificamente, quello degli esseri umani?

Oggi si parla di robot umanoidi, ma con questo termine spesso ci si vuole solo riferire a robot che hanno un corpo che ha la forma di un corpo umano e hanno organi sensoriali e motori in qualche modo simili a quelli degli esseri umani. Ma per essere veramente di aiuto, per capire il comportamento degli esseri umani, la robotica umanoide deve andare molto al di là della simulazione della forma esterna del corpo umano e degli organi sensoriali e motori degli esseri umani. Per realizzare una robotica che si possa chiamare "umana" e non semplicemente "umanoide", è necessario che la robotica affronti altri aspetti degli organismi viventi, e in particolare degli esseri umani, e imbocchi nuove direzioni di ricerca. Ora descriveremo brevemente sette di queste nuove direzioni di ricerca della robotica: la robotica interna, la robotica mentale, la robotica sociale, la robotica tecnologica, la robotica culturale, la robotica linguistica e la robotica demografica.

Robotica interna

I robot hanno un "corpo" che riproduce il corpo degli organismi viventi e il modo in cui il corpo degli organismi si muove in risposta agli stimoli ambientali. Ci sono robot con un corpo da cane, o da insetto, o da pesce, robot che volano e robot che strisciano, e anche robot che, per il fatto di avere un corpo che riproduce il corpo umano, vengono chiamati robot umanoidi. Ma gli organismi non hanno solo un corpo che ha una certa forma esterna e che si muove in un certo modo. Hanno anche un interno

del corpo, una serie di organi e sistemi interni: cuore, polmoni, fegato, sistema digerente, sistema endocrino, sistema immunitario. Nella robotica di oggi quello che sta dentro al corpo di un organismo viene sostanzialmente ignorato, fatta eccezione per il sistema nervoso che viene simulato con una rete neurale artificiale composta da unità che simulano i neuroni e di connessioni tra unità che simulano le sinapsi tra i neuroni. Il sistema nervoso è il principale sistema interno che controlla il comportamento degli organismi, traducendo gli stimoli sensoriali provenienti dall'ambiente in movimenti del corpo, ma non è l'unico. Un ruolo importante ce l'ha anche tutto il resto del corpo, che invia stimoli al sistema nervoso e si modifica in funzione dei comandi che arrivano dal sistema nervoso. Se la robotica continuerà ad essere una robotica puramente esterna, che riproduce nei robot solo la morfologia e la dinamica esterna del corpo e le interazioni del sistema nervoso con l'ambiente esterno, la robotica potrà servire a studiare le componenti più cognitive del comportamento, cioè quello che l'organismo sa fare, le sue abilità e le sue conoscenze, ma le sfuggiranno le componenti del comportamento che gli psicologi chiamano "dinamiche", cioè le motivazioni e gli stati emotivi, il sentire e non solo il sapere e il fare.

La robotica interna impone una serie di cambiamenti rispetto alla robotica che conosciamo. Le reti neurali artificiali simulano il sistema nervoso a livello cellulare, non a quello molecolare. Le unità di una rete neurale simulano le cellule nervose, i neuroni, e le connessioni simulano le sinapsi tra neuroni. Invece la robotica interna richiede che il sistema nervoso venga modellato anche a livello molecolare, considerando non solo le cellule nervose e le sinapsi tra cellule nervose, ma anche le molecole che costituiscono i neuro-trasmettitori e i neuro-modulatori, e anche gli ormoni e le molecole chimiche che entrano nel corpo dall'esterno, iniettate nel sangue o inghiottite dentro a una pillola (psicofarmaci, droghe). Un altro cambiamento, sempre riguardante le reti neurali, che va tenuto presente è che le cellule nervose possono essere influenzate nel loro livello di attivazione (ritmo di sparo di impulsi nervosi da parte dei neuroni) non solo in funzione della specifica tipologia delle connessioni sinaptiche (quale neurone è collegato con quale neurone), come avviene quasi sempre nelle attuali reti neurali, ma anche in funzione di azioni più diffuse e

legate alla topografia dei neuroni (la collocazione dei diversi neuroni nel cervello). Un terzo cambiamento richiede di prendere in considerazione il fatto che gli stimoli che arrivano al sistema nervoso dall'ambiente esterno provengono da qualcosa che ha una sua struttura indipendente dall'organismo, mentre gli stimoli che arrivano al sistema nervoso da dentro al corpo, provengono da qualcosa che si è co-evoluto insieme al sistema nervoso stesso.

La robotica interna sarà un inevitabile sviluppo della robotica se la robotica dovrà servire a studiare la struttura delle motivazioni che muovono un organismo, la competizione tra motivazioni diverse per il controllo momento per momento del comportamento dell'organismo, gli stati emotivi che sono motivazioni che "alzano la voce" per farsi sentire e vincere la competizione con altre motivazioni. Lo studio robotico delle motivazioni e delle emozioni sarà necessario perché si tratta di aspetti del comportamento che sono centrali e fondamentali rispetto agli aspetti cognitivi finora studiati dalla robotica, e per superare l'errata visione "razio-centrica" o "cognitivo-centrica" del comportamento umano così radicata nella cultura occidentale. Ad esempio, sarà necessario per studiare il carattere o la personalità che variano da un individuo all'altro e che si differenziano più per le caratteristiche motivazionali ed emotive degli individui che per quelle cognitive. Sarà anche necessario per rendere chiaro che i modelli evolutivi (algoritmi genetici) e i modelli di apprendimento non sono tecniche alternative tra cui il ricercatore può scegliere arbitrariamente per ottenere determinati comportamenti nei robot, ma sono due modi di sviluppare comportamenti che esistono entrambi negli organismi viventi e che vanno studiati insieme e nelle loro interazioni, dato che gli aspetti motivazionali ed emotivi hanno origine fondamentalmente nei processi evolutivi, mentre quelli cognitivi, almeno negli esseri umani, hanno origine fondamentalmente nei processi di apprendimento.

Robotica mentale

In tutti gli animali il sistema nervoso riceve stimoli sia dall'ambiente situato all'esterno al corpo che dall'interno del corpo, e reagisce a questi stimoli con movimenti del corpo o modificando lo stato interno del corpo. Ma, almeno nel caso degli esseri umani, succede anche che il sistema nervoso auto-generi i propri stimoli dal suo stesso inter-

no, e che risponda agli stimoli, qualunque sia la loro origine, non facendo compiere al corpo dei movimenti e neppure modificando lo stato interno del corpo, ma semplicemente auto-generando altri stimoli al suo interno. Questa è quella che viene chiamata la vita mentale, cioè la capacità di immaginare, di ricordare esperienze passate, di pianificare le proprie azioni considerandone le possibili conseguenze, di sognare, di avere allucinazioni. Il cervello normalmente fa da mediatore tra stimoli che provengono da fuori del cervello e azioni che hanno effetti su quello che sta fuori del cervello. Ma nella vita mentale tutto succede nel cervello e tutto rimane nel cervello.

La vita mentale è il risultato di un accrescimento del numero di neuroni dedicati ad elaborare gli stimoli prima di arrivare a compiere azioni, rispetto ai neuroni dedicati a ricevere gli stimoli o a produrre azioni, accrescimento documentato nella filogenesi del cervello umano. Se il "cervello" del robot è simulato da una rete neurale artificiale, questo significa aumentare il numero di strati di neuroni che si interpongono tra i neuroni sensoriali e quelli motori, e aumentare le connessioni che collegano strati situati più a valle a strati situati più a monte nel mapping senso-motorio e le connessioni orizzontali che collegano più strati situati allo stesso livello. Dal punto di vista funzionale, reti neurali di questo tipo estendono la portata temporale della "vita psichica" del robot. I robot che conosciamo sono robot con una vita psichica che ha solo un presente: rispondono agli stimoli che in quel momento l'ambiente (o il proprio corpo) trasmettono al loro "cervello". Un robot dotato di vita mentale è un robot la cui vita psichica si estende al passato, in quanto la sua rete neurale auto-genera input sensoriali simili a quelli che in passato le aveva inviato l'ambiente esterno, e si estende al futuro, in quanto la rete neurale auto-genera (predice, immagina) gli input sensoriali che le arriveranno dall'ambiente esterno in futuro, come conseguenza delle caratteristiche intrinseche dell'ambiente esterno, o come conseguenza di azioni pianificate dal robot, ma non ancora, o non necessariamente, eseguite fisicamente. Ma questo non basta. Un robot dotato di vita mentale non vive soltanto nel mondo reale, presente, passato o futuro, ma anche in mondi che il robot sa essere soltanto possibili, o in mondi che il robot sa essere controfattuali, cioè diversi dal mondo reale, o addirittura impossibili. Un potente impulso alla vita mentale degli

esseri umani proviene dal fatto che gli esseri umani hanno un sofisticato sistema di comunicazione, il linguaggio verbale (di cui ci occuperemo più avanti, parlando della robotica linguistica). Una delle caratteristiche cruciali che distingue il linguaggio umano dai sistemi di comunicazione animali è che i sistemi di comunicazione animali vengono usati esclusivamente per comunicare con altri individui, mentre il linguaggio umano viene usato non solo per comunicare con altri individui, ma anche per comunicare con se stessi, cioè per pensare. I movimenti fono-articolatori realizzati fisicamente producono suoni che sono udibili da altri individui sufficientemente vicini e anche dallo stesso individuo che li ha prodotti. I movimenti fono-articolatori possono anche essere formulati come particolari pattern di attivazione neurale, ma senza arrivare fino ai comandi motori che fanno muovere gli organi fono-articolatori (corde vocali, lingua, bocca). Questi movimenti fono-articolatori che non si traducono in suoni fisici udibili possono ugualmente tradursi in suoni previsti o immaginati, cioè in stimoli auto-generati all'interno del cervello che costituiscono il pensiero: ricordi formulati in parole, azioni pianificate e formulate in parole che producono previsioni delle loro conseguenze anch'esse formulate in parole, descrizioni formulate in parole di mondi possibili, controfattuali e impossibili.

Alla vita mentale appartengono anche molti di quegli aspetti del comportamento a cui ci si riferisce collettivamente con il confuso termine di coscienza: l'idea di se stessi come di qualcosa di distinto dal resto della realtà, il sapere che esistono due realtà, una accessibile solo a se stessi (soggettiva) e l'altra accessibile a chiunque (oggettiva), la distinzione tra comportamenti o eventi mentali di cui l'individuo è in grado di parlare e che può controllare e comportamenti o eventi mentali di cui l'individuo non è in grado di parlare e che non può controllare. Un compito importante della robotica mentale è dar conto di queste caratteristiche degli esseri umani, cioè costruire robot ai quali queste caratteristiche possano essere attribuite con qualche plausibilità.

Il possesso di una vita mentale non è solo importante in quanto si traduce in una espansione e una differenziazione delle capacità cognitive, ma è importante anche dal punto di vista "dinamico", cioè delle motivazioni e delle emozioni. La capacità di avere ricordi e immaginazioni, di fare previsioni e anticipazioni di possibili eventi futuri,

espande la vita emotiva e la rende più complicata, moltiplicando desideri, paure, rammarichi, sensi di colpa, ansie prive di un oggetto specifico, e creando le condizioni di conflitti psichici che mettono a rischio il benessere mentale e fisico. È solo se la robotica interna e quella mentale affronteranno fenomeni come questi che potremo estendere i vantaggi delle teorie robotiche alla comprensione di fenomeni come le malattie mentali e le varie forme di disturbi psichici, e del perché malattie mentali e disturbi psichici siano suscettibili di essere curati con cose apparentemente così diverse come gli psicofarmaci e le psicoterapie.

Robotica sociale

Come si è già accennato, oggi esiste non soltanto la robotica individuale, ma anche la robotica collettiva, cioè la costruzione di gruppi di robot che comunicano e si coordinano tra di loro. Ma la robotica collettiva attuale è una robotica al livello degli insetti o comunque di animali molto semplici, non certo al livello degli esseri umani. In genere, i robot della robotica collettiva hanno tutti caratteristiche identiche, come succede in molte società degli insetti, ad esempio delle formiche, che sono formate da individui che hanno lo stesso materiale genetico ereditato. Non ci sono ruoli diversi tra i diversi robot, e tanto meno strutture sociali di potere. I diversi robot si possono percepire l'uno con l'altro, ma le vere e proprie forme di comunicazione, se ci sono, sono elementari, come sono appunto quelle degli insetti e degli animali in genere.

Anche sul piano della socialità i robot futuri dovranno essere più sofisticati se dovranno servire per studiare e capire la socialità degli esseri umani. La robotica collettiva del futuro dovrà affrontare almeno queste tre classi di fenomeni.

Quello che è tipico delle società umane, da circa 10 millenni, è che sono società così grandi da non poter essere costituite da individui molto simili geneticamente tra di loro. Questo fa una grande differenza, perché nei gruppi formati da pochi individui geneticamente simili, gli individui tendono ad esibire comportamenti altruistici come effetto della selezione di parentela, in base alla quale un individuo ne avvantaggia un altro purché sia suo parente, perché questo è un modo indiretto di avvantaggiare i propri stessi geni. Invece nei gruppi più grandi come le società umane, dove gli individui sono geneticamente degli estranei, emergono tutta una serie di nuovi problemi legati al

prevalere dei comportamenti egoistici. Le società umane sono in buona parte sistemi per gestire i problemi che nascono dal dover conciliare i comportamenti egoistici degli individui con l'esigenza di stare insieme e di lavorare insieme per raggiungere obiettivi che nessun individuo da solo è in grado di raggiungere. La robotica collettiva del futuro dovrà studiare questi problemi e i diversi assetti che le società umane si sono date per risolverli.

La complessità delle società umane non è solo genetica, ma è anche una complessità di organizzazioni e ruoli sociali. Nelle società umane emergono i capi politici, individui che dicono agli altri che cosa devono fare, venendo in genere ubbiditi, si differenziano i sistemi per stabilire quali individui svolgono il ruolo dei capi e si moltiplicano i compiti che i capi e le strutture di governo svolgono per la società (difesa/attacco rispetto ad altri gruppi, fissazione di regole e sistemi di scoperta e punizione dei comportamenti che le violano, produzione di opere e servizi). Un'altra caratteristica delle società umane è che i sistemi per procurarsi i beni sono sociali e non individuali. I beni vengono prodotti non dagli individui singoli, ma da organizzazioni di più individui, pubbliche o private, e sono ottenuti non direttamente dalla natura, ma da altri individui attraverso lo scambio. La robotica collettiva del futuro dovrà occuparsi di questi problemi tradizionalmente studiati da discipline come la sociologia, la scienza politica e l'economia.

Gli esseri umani sono caratterizzati da sistemi di comunicazione sofisticati che non sono soltanto il linguaggio verbale, ma includono anche la comunicazione espressiva, verbale e non verbale, fino alle complesse forme comunicative dell'arte e della religione. La robotica oggi ha cominciato ad affrontare la comunicazione tra i robot, ma le forme di comunicazione studiate sono estremamente primitive e le questioni affrontate si limitano, come si dice, a grattare la superficie dei problemi. Per quanto riguarda il linguaggio verbale, ce ne occuperemo più avanti, parlando della robotica linguistica. La comunicazione espressiva ha cominciato ad essere studiata nei robot, ma per ora in forme superficiali, ad esempio costruendo robot dotati di una faccia che può assumere diverse espressioni o che riescono a distinguere le espressioni del volto umano come una forma di riconoscimento di pattern percettivi. Ma il problema che non è stato affrontato è quello più difficile: co-

struire robot che non si limitano a esprimere emozioni non sentite, ma che sentono queste emozioni (e per questo ci vuole il contributo della robotica interna), e che capiscono l'altro in quanto riproducono all'interno del proprio "cervello" il comportamento o le emozioni dell'altro. Quest'ultimo è un problema di cui i neurofisiologi hanno cominciato ad occuparsi dopo la scoperta dei neuroni specchio, neuroni che si attivano sia quando un organismo compie una azione o si trova in un certo stato emotivo sia quando vede un altro organismo compiere quella azione o trovarsi in quello stato emotivo, ed è da questa scoperta che bisogna partire per costruire robot capaci di capire altri robot.

Robotica tecnologica

Se i robot che costruiamo debbono servire a farci capire come sono fatti gli esseri umani, è difficile ignorare che una delle caratteristiche più evidenti degli esseri umani è il fatto che non si limitano a interagire con l'ambiente così come lo trovano, come fanno gli altri animali, ma costruiscono artefatti e modificano l'ambiente in cui vivono. La storia evolutiva, prima biologica e poi culturale, degli esseri umani è documentata non solo dal modificarsi del loro corpo e dalla crescita del volume del loro cervello, ma anche dagli utensili e dalle armi che hanno lasciato, dalle loro sculture, pitture, abitazioni e ornamenti del corpo, e poi dall'inventarsi tecnologie per produrre il cibo, invece di limitarsi a mangiare quello che esiste in natura, e per fissare su supporti esterni il linguaggio verbale (scrittura), per non parlare dell'enorme sviluppo, progressivamente accelerato nel tempo, delle tecnologie umane negli ultimi secoli. È difficile pertanto che si possa avere una robotica umana se non ci sarà una robotica tecnologica, cioè una robotica i cui robot siano capaci di costruire artefatti e di modificare l'ambiente in cui vivono. Gli artefatti costruiti dai robot saranno un evidente segno di quello che è cambiato nel loro comportamento, ma, modificando l'ambiente in cui i robot vivono, retroagiranno sul loro comportamento, modificandolo ulteriormente.

La costruzione di artefatti e la sistematica modificazione dell'ambiente richiedono particolari capacità cognitive e particolari tipi di organizzazione sociale. È probabile che la costruzione di strumenti che caratterizza fin dall'inizio la comparsa del genere Homo, molto tempo prima della comparsa della specie Homo sapiens, sia collegata al-

l'acquisizione da parte dei nostri antenati di una capacità di prevedere le conseguenze delle loro azioni in modo da diventare capaci di produrre con le loro azioni conseguenze desiderate, cioè artefatti aventi determinate caratteristiche e capaci di produrre determinati effetti nell'ambiente. Il possesso di un cervello capace di prevedere le conseguenze di movimenti pianificati, ma non ancora eseguiti fisicamente, sembra essere una caratteristica fondamentale degli esseri umani, i quali potrebbero essere definiti come "gli animali che predicono" allo stesso titolo per cui sono definiti "gli animali che parlano" o "gli animali dotati di ragione". Una robotica umana dovrà, quindi, preoccuparsi di costruire robot le cui reti neurali siano capaci di anticipare le conseguenze dei movimenti del robot, studiando sia le precondizioni che gli effetti di possedere una tale capacità.

Ma la capacità di prevedere le conseguenze delle propri azioni non è che una delle precondizioni per la costruzione di artefatti. Altrettanto importanti sono la capacità di apprendere da altri individui come si costruiscono gli artefatti e quella di costruire un artefatto prendendo come modello un artefatto già esistente. Questo significa chiamare in causa la trasmissione culturale dei comportamenti e delle abilità, che svolge un ruolo cruciale nella costruzione degli artefatti e nel modificarsi degli artefatti nel tempo, come è testimoniato dal fatto, evidente dalle descrizioni e dalle documentazioni degli antropologi, che gli artefatti di una comunità culturale tendono a essere diversi da quelli di un'altra comunità culturale e che gli artefatti di una comunità culturale sono considerati segni importanti dell'identità culturale di quella comunità (della robotica culturale ci occuperemo più sotto).

L'altra capacità che svolge un ruolo nella costruzione di artefatti, come del resto in ogni altra capacità umana, è il possesso del linguaggio, anche se questo probabilmente è stato meno vero nelle fasi iniziali della costruzione di artefatti da parte dei nostri antenati. Le previsioni riguardanti le conseguenze delle proprie azioni diventano più efficienti se sono formulate in parole. L'apprendere dagli altri a costruire artefatti, specie artefatti di una certa complessità, può essere facilitato dal fatto che maestro e allievo parlano. La costruzione di artefatti e la modificazione dell'ambiente possono fare un salto di qualità se sono l'opera non di un singolo individuo, ma di insiemi organizzati di individui e, almeno nel caso degli esse-

ri umani, gli insiemi organizzati di individui funzionano perché esiste il linguaggio (della robotica linguistica parliamo più sotto).

Robotica culturale

Negli animali i comportamenti sono il risultato di processi evolutivi al livello della specie che lasciano tracce nel patrimonio genetico con cui nasce ogni individuo e, in misura minore, di processi di apprendimento del singolo individuo nel corso delle sue interazioni con l'ambiente naturale, non sociale. Negli esseri umani non solo l'apprendimento svolge in generale un ruolo più importante che negli altri animali nel determinare quello che un individuo fa e sa, ma si tratta di un apprendimento prevalentemente sociale, cioè un apprendimento che si realizza interagendo con gli altri, imparando da loro. Questo significa che se i robot che costruiamo devono essere robot umani, e non semplicemente robot umanoidi, e debbono servirci a capire gli esseri umani in quanto si comportano come gli esseri umani, i loro comportamenti devono essere non solo comportamenti appresi, ma devono essere comportamenti appresi dagli altri, imitandoli, osservando che cosa fanno, che cosa guardano, capendo e seguendo i loro insegnamenti. E noi dobbiamo poter osservare, nei gruppi di robot che vivono insieme e interagiscono tra loro, delle vere e proprie tradizioni culturali, cioè dei modi di comportarsi che sono gli stessi all'interno del gruppo e diversi da quelli di altri gruppi.

Anche per realizzare una robotica culturale, come per la costruzione di artefatti, appare essenziale che i robot siano dotati di una capacità di prevedere le conseguenze delle azioni. Nel caso della trasmissione culturale la capacità di prevedere le conseguenze delle azioni deve estendersi a prevedere le conseguenze delle azioni degli altri, e non solo delle proprie. Ma apprendere dagli altri ha molte forme, da quelle più elementari, che sembrano basarsi su una capacità di imitare gli altri avente una base innata e non appresa, a quelle più sofisticate e complesse, in cui il linguaggio svolge un ruolo importante.

Robotica linguistica

La robotica linguistica punta a costruire robot che siano in possesso di un sistema di comunicazione paragonabile al linguaggio umano. Il linguaggio è il segno più evidente di un comportamento umano e di "essere umani", ed è perciò un criterio cruciale per essere autorizzati a parlare di robot "umani" e non di robot "umanoidi". Come

si è già accennato, la robotica ha cominciato a occuparsi di comunicazione tra i robot (e anche di comunicazione tra noi e i robot), ma le forme di comunicazione che si è riusciti a realizzare finora sono molto primitive, simili a quelle degli animali, non certo al linguaggio umano. D'altra parte, il linguaggio umano è una forma di comunicazione molto complessa, e complessa da molti punti di vista; e questo significa che la robotica linguistica è una delle sfide più difficili se si vuole arrivare a costruire robot che si possano chiamare "umani".

Proviamo a isolare alcune dimensioni di questa complessità. La robotica evolutivistica dovrà affrontare l'emergere del linguaggio umano da forme più primitive di comunicazione, cioè dovrà riprodurre nei robot il modo in cui, partendo da antenati scimmieschi dotati soltanto di sistemi di comunicazione simili a quelli delle scimmie attuali, gli esseri umani sono arrivati ad avere un sistema di comunicazione come il linguaggio. Un possibile modello evolutivo da realizzare con i robot è un modello a tre stadi: il primo prevede solo segnali singoli (come negli animali); il secondo segnali complessi formati dalla combinazione di segnali singoli, ma senza indicazione esplicita dei modi in cui vanno combinati i significati dei segnali singoli per ottenere il significato del segnale complesso; e il terzo prevede invece queste indicazioni esplicite (grammatica). La robotica dovrà anche riprodurre nei robot il modo in cui il linguaggio viene acquisito dal bambino, sulla base di strutture universali che il bambino eredita geneticamente e che servono a guidare il suo apprendimento dagli adulti della specifica lingua parlata nella particolare comunità in cui il bambino cresce.

Altri problemi per la robotica linguistica verranno dal fatto che il linguaggio ha una complessa struttura gerarchica in base alla quale singoli suoni non dotati di significato (fonemi) si combinano tra loro per formare segnali dotati di significato, ma che ancora non sono parole (morfemi), i morfemi si combinano tra loro a formare parole, le parole a formare sintagmi, i sintagmi a formare frasi, le frasi a formare discorsi e conversazioni. Poi c'è la questione delle diverse classi di parole (nomi, verbi, articoli, preposizioni, ecc.) e come queste diverse classi di parole ricevono il significato che hanno. Ad esempio, i nomi potrebbero essere parole associate, nell'esperienza del robot, a uno stesso oggetto nel variare delle azioni che il robot compie o vede compiere dagli altri

nei riguardi di quell'oggetto, mentre i verbi sarebbero parole associate a una stessa azione nel variare degli oggetti nei riguardi dei quali quell'azione viene compiuta. E poi, ancora, ci sono le relazioni esistenti tra i significati delle parole e come queste relazioni sono rappresentate nel "cervello" (rete neurale) del robot, con la possibilità di muoversi dentro questa rete di significati con importanti conseguenze per le capacità del robot di pensare e di agire.

E infine la robotica linguistica dovrà affrontare i diversi modi di usare il linguaggio da parte dei robot, per informare, per domandare, per dare ordini o fare richieste, ma anche per produrre una certa immagine di se stessi negli altri o per definire la natura delle diverse situazioni di interazione sociale, per non parlare degli usi del linguaggio per comunicare con se stessi a cui abbiamo già accennato parlando della robotica mentale.

Robotica demografica

Uno dei limiti più evidenti e nello stesso tempo più difficili da riconoscere della robotica attuale è che considera i robot tutti uguali: sessualmente neutri, privi di un'età, senza relazioni di parentela tra di loro. Ovviamente le cose non stanno così per gli organismi reali, che sono diversi uno dall'altro per sesso, età e relazioni di parentela. Ed è evidente che il comportamento di un individuo è influenzato in modo spesso decisivo da queste caratteristiche demografiche che differenziano un individuo dall'altro. Perciò quello che ci si aspetta da una robotica che si possa realmente chiamare "umana" è che costruisca robot che sono o femmine o maschi, che hanno una ciclo di vita diviso in età significativamente diverse (ad esempio infanzia, adolescenza, età adulta, e vecchiaia), e hanno relazioni di parentela tra di loro, costituendo famiglie di vario tipo, in modo da poter studiare le conseguenze per i comportamenti dei robot di possedere l'una o l'altra di queste caratteristiche.

Facciamo qualche esempio. Le femmine e i maschi hanno un ruolo diverso nella riproduzione, e questo tende a riflettersi in una serie di differenze nei comportamenti delle femmine e dei maschi che vanno al di là della riproduzione. La possibilità di lasciare i propri geni nella generazione successiva dipende non solo dalla capacità che ha un individuo di sopravvivere (selezione naturale), ma anche dalla capacità dell'individuo di trovare un partner per la riproduzione (selezione sessuale), ed è stato ipotizzato che molte delle caratteristiche degli esseri

umani potrebbero aver avuto origine nella selezione sessuale piuttosto che in quella naturale. L'esistenza di una prolungata infanzia negli esseri umani è stata collegata con l'emergere delle superiori capacità cognitive umane in quanto durante l'infanzia i piccoli possono imparare molte cose che serviranno loro da adulti dato che non debbono preoccuparsi della propria sopravvivenza perché i loro genitori si prendono cura di loro. Apprendere dagli adulti come comportarsi sembra essere una necessità negli adolescenti, anche se i cambiamenti troppo veloci nella società mettono in dubbio l'utilità di questo apprendimento, dato che gli adulti rischiano di insegnare cose non più valide nella società in cui vivono gli adolescenti. Il prolungarsi della vita delle femmine al di là della menopausa, quando non possono più riprodursi, è stato collegato con l'emergere del loro ruolo di nonne che, aiutando i propri figli a prendersi cura dei nipoti, scoprono un nuovo modo di garantire la sopravvivenza dei propri geni nelle generazioni future. L'esistenza della famiglia, e di comportamenti diversi nei riguardi dei diversi membri della propria famiglia, oltre che diversi dai comportamenti nei riguardi di persone che non fanno parte della famiglia, ha una fondamentale influenza da un lato sull'assetto psicologico di ogni individuo e dall'altro sull'assetto della società di cui la famiglia fa parte.

Tutti questi fenomeni appaiono così importanti per capire che cosa sono e come funzionano gli esseri umani che una robotica umana non può ignorarli. Anzi, quello che ci si aspetta dalla robotica è un decisivo contributo per districare il complicato intreccio di fattori biologici e fattori culturali che li determinano, in quanto il carattere esplicito e operativo delle teorie espresse come robot può riuscire a tenere a bada i pregiudizi e le scelte ideologiche che rendono difficile studiarli.

CONCLUSIONI

Queste sono le principali direzioni verso cui dovrà muoversi la robotica se vorrà costruire robot che di umano non abbiano soltanto la forma esterna del corpo e gli organi sensoriali e motori, ma che ci servano effettivamente a capire meglio che cosa siano e come funzionino gli esseri umani. La robotica oggi sta cominciando a fare i primi passi nelle direzioni che abbiamo descritto, ma siamo ancora agli inizi. La strada da fare è molto più lunga di quella fatta. Una prova che la robotica umanoide è di-

ventata veramente una robotica umana sarà la dimostrazione che siamo capaci di costruire robot che riproducono alcune delle più importanti manifestazioni della mente umana e della socialità umana, cioè l'arte, la religione e la stessa scienza. Lo studio dell'arte, della religione, della scienza, è stato fino ad oggi riservato ai filosofi e agli storici, mentre la scienza si è occupata di questi importanti fenomeni solo marginalmente e non cogliendone che alcuni aspetti. Quello che ci si aspetta dai robot come teorie è che essi ci consentano di capire, nei modi in cui la scienza ci fa capire le cose, che cosa è l'arte, che cosa è la religione, che cosa è la scienza (e che cosa è la realtà che la scienza pretende di farci conoscere), costruendo robot che "hanno" l'arte, la religione e la scienza. Come si vede, dai robot come teorie ci aspettiamo molto. Ci aspettiamo una nuova scienza del comportamento umano e delle società umane che sia migliore di quella che abbiamo avuto finora.

Come è stato già detto all'inizio, la ragione per cui la robotica esita a muoversi nelle direzioni che abbiamo descritto in questo lavoro è che, esplicitamente o implicitamente, i robot sono ancora visti soltanto come cose utili, cose aventi applicazioni pratiche e quindi valore economico. Che senso può avere - da questo punto di vista - la costruzione di robot che hanno una vita emotiva, che dormono e possono entrare in coma, che hanno disturbi mentali e producono e apprezzano artefatti artistici, che pensano, sognano e hanno ricordi e immaginazioni, che interagiscono tra loro cercando di fare ognuno i propri interessi, che sono femmine o maschi? Robot così non solo non sembrano avere applicazioni utili, ma rischiano di creare problemi proprio dal punto di vista applicativo. La risposta alla domanda è duplice. Prima di tutto i robot non sono soltanto tecnologie che hanno applicazioni utili, ma con il tempo diventerà chiaro che la loro importanza è soprattutto nel fatto che sono un nuovo modo di formulare le teorie riguardanti il comportamento degli organismi e un nuovo modo di fare scienza. In secondo luogo, anche dal punto di vista delle applicazioni pratiche, non bisogna avere una visione miope delle cose. Oggi può sembrare che i robot "umani", e non semplicemente "umanoidi" di cui abbiamo parlato, siano inutili o dannosi dal punto di vista applicativo, ma domani proprio questi robot "umani" potranno suggerire applicazioni pratiche che oggi non riusciamo ancora a immaginare.