

## Tra ricerca e innovazione: le frontiere della robotica

### Intervista a Maria Chiara Carrozza

a cura di Giacomo Bottos, Raffaele Danna e Chiara Visentin

*Il robot ha sempre avuto un forte impatto sull'immaginario collettivo, come entità centrale di scenari futuribili nei quali il progresso tecnologico apre prospettive radicalmente nuove e pone talvolta interrogativi inquietanti. Negli ultimi decenni la robotica è però diventata una realtà non solo sul piano della ricerca, ma anche su quello economico. Una realtà la cui importanza cresce di anno in anno, pienamente inserita in un complesso di innovazioni – tra cui intelligenza artificiale, Internet of Things, quarta rivoluzione industriale – che sta profondamente trasformando la realtà economica e sociale. Per capire le principali direttrici odierne della ricerca e della tecnologia in ambito robotico, nonché la dimensione economica del settore, il ruolo del nostro Paese e le problematiche da affrontare in relazione al trasferimento tecnologico ci siamo confrontati con Maria Chiara Carrozza, attualmente Presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche – CNR, prima donna a ricoprire questo ruolo, e Professore ordinario di Bioingegneria industriale all'Istituto di Biorobotica della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa. L'intervista è stata concessa prima della nomina a presidente CNR, in merito alla quale abbiamo posto l'ultima domanda.*

*Il concetto e l'immagine del robot affascinano da molti decenni il nostro immaginario. Ma quando si è iniziato a usare la parola robot? Quali sono i significati principali associati ad essa e quando abbiamo assistito alle prime realizzazioni pratiche?*



**Carrozza:** Una delle prime e più famose occorrenze della parola 'robot' si trova nel dramma teatrale del 1920 *I robot universali di Rossum* dello scrittore ceco Karel Čapek. Il termine era in quel contesto prevalentemente associato ad un'idea di lavoro svolto dalle macchine assolutamente subalterno e servile. Per comprendere l'emergere di questo concetto bisogna tornare al clima della seconda rivoluzione industriale e all'avvento della catena di montaggio, ispirata ad una visione della produzione molto meccanica – pensiamo al processo industriale della Ford Model T –. È un'atmosfera ben descritta nel film *Tempi moderni*, che restituiva l'immagine di un lavoro umano basato su gesti ripetitivi. Qui non troviamo ancora il concetto di robot, ma abbiamo un tassello importante per comprenderne la genesi. A partire da questa ripetitività richiesta al lavoro umano, nasce l'idea di una macchina in grado di svolgere al posto dell'uomo azioni usuranti e ripetitive, automatizzandole. Si tratta di un'idea che è stata valida anche nella terza rivoluzione industriale, nella quale ha portato a realizzazioni importanti. Sempre rifacendoci ad una suggestione cinematografica possiamo ricordare il film *Metropolis*, una produzione di fantascienza del 1927, nella quale vediamo già anche l'idea del robot antropomorfo, di una macchina simile all'uomo. Se dunque le basi dell'immaginario robotico vengono gettate nel primo Novecento, la tecnologia che rende potenzialmente realizzabili i robot divenne disponibile solo dopo la Seconda guerra mondiale. In ogni caso, si tratta di un'evoluzione che avviene progressivamente. I robot immaginati concettualmente nei libri di Asimov, del resto, ancora oggi non sono realizzabili. La prima importante fase di applicazioni pratiche della robotica prende avvio tra anni Settanta e Ottanta con la terza

rivoluzione industriale. In questo contesto il robot è legato al concetto di automazione industriale. È una macchina che consente di effettuare lavori usuranti e ripetitivi, ma anche tali da richiedere grande potenza ed energia. Il robot, ad esempio, permette la manipolazione di telai e di altri pezzi pesanti in maniera molto più rapida, così da aumentare la produttività e portare la qualità del prodotto a livelli sempre più elevati. Queste caratteristiche rendono tale tecnologia particolarmente idonea, ad esempio, alla produzione in serie in campo automobilistico, dove sia la quantità dei pezzi fabbricati al minuto, sia la qualità e le caratteristiche del prodotto assumono grande importanza.

*Quali sono state le tecnologie abilitanti fondamentali nel determinare i progressi nell'ambito della robotica, in particolare nella fase più recente?*

**Carrozza:** Un elemento centrale nella robotica industriale è il controllo del movimento. Ciò che in prima battuta caratterizza il robot, infatti, è la capacità di movimento e la possibilità di adattare tale movimento al compito assegnato. Se dunque da un lato è della massima importanza produrre motori, strutture articolate e componenti affidabili – la meccanica del robot –, dall'altro è cruciale il controllo, reso possibile grazie allo sviluppo dell'informatica e della teoria dei controlli. Con la terza rivoluzione industriale, oltre ai meccanismi, vengono fortemente sviluppati e raffinati i sensori che permettono la misura dello spostamento, l'accuratezza e la gestione della velocità, grazie anche alla parte computazionale. In questo ambito vi è stata una maturazione progressiva, grazie anche ad elementi di bioispirazione, che sono stati molto importanti per lo sviluppo della robotica negli anni



Novanta. Questo trend di miglioramento nella sensoristica e nella computazione è fondamentale.

*Quali sono i trend attuali più importanti? Si stanno sviluppando nuove applicazioni e nuovi tipi di robotica?*

**Carrozza:** In questa fase di sviluppo della robotica, oltre al miglioramento delle prestazioni, un elemento fondamentale è il controllo dell'interazione, non solo tra il robot e l'ambiente, ma anche tra il robot e il corpo umano. Il miglioramento delle capacità in questo tipo di interazione è essenziale per lo sviluppo di una robotica applicata non esclusivamente all'ambito industriale, ma anche a quello dei servizi. L'obiettivo è consentire al robot di poter operare non solo in un ambiente manifatturiero, nel quale viene controllato a distanza da operai specializzati, ma anche in altri tipi di ambiente, aprendo la strada a nuove applicazioni in ambiti come la robotica medica, chirurgica o riabilitativa. Si tratta di settori nei quali è essenziale

che il contatto con il corpo umano avvenga in maniera sicura e controllabile. Un obiettivo ulteriore della robotica contemporanea è, inoltre, quello di diventare robotica di consumo, andando oltre la stessa area dei servizi, per operare anche in un contesto domestico, al servizio di un utente non specializzato e formato per utilizzarlo. Assistiamo già ad alcune applicazioni di questo tipo: pensiamo ai robot per la pulizia automatica della casa. Utilizzi di questo tipo sono stati resi possibili da una tecnologia che ha consentito non solo di alleggerire il telaio e la struttura meccanica del robot, ma anche da un miglioramento dei controlli, accelerato dallo sviluppo di forme di intelligenza artificiale. Siamo quindi oltre l'automazione del *task* fisico: nella fase in cui ci troviamo il punto centrale è l'automazione cognitiva di compiti che erano riservati alla sfera dell'umano. Questo, potenzialmente, cambierà in maniera radicale lo scenario della robotica e delle sue applicazioni. Aggiungerei che negli ultimi anni si è molto concentrata l'attenzione sulla figura del robot che

svolge un compito al posto dell'operatore umano, sostituendolo. Questa visione tuttavia non comprende tutte le attuali possibilità di utilizzo della robotica: si sta infatti sviluppando un filone nella robotica sociale in cui il robot coadiuva il lavoro umano e non lo sostituisce, rappresentando quindi un potenziamento funzionale. Questo discorso vale sia per le protesi che per la robotica collaborativa. In quest'ultimo caso lo spazio di lavoro viene condiviso tra il robot e l'operatore umano per farli lavorare insieme, uno scenario in cui avviene un'interazione e non una sostituzione. È quindi superficiale affermare che la robotica sostituisca semplicemente il lavoro umano: la robotica è uno strumento tecnologico importante, può subentrare all'uomo in alcune attività, ma proprio per questo può anche consentire alle persone di lavorare e vivere meglio esponendosi a meno rischi sul lavoro.

*Un ambito particolarmente promettente è quello della robotica bioispirata. Quali sono le caratteristiche di questo approccio e quali risultati permette di ottenere? In che senso possiamo parlare di bioispirazione? Quali sono gli orizzonti aperti da queste tecnologie? Si può parlare di un superamento del confine tra naturale e artificiale?*

**Carrozza:** Parlando di robotica bioispirata si entra nel campo della bioingegneria, di cui mi occupo personalmente. Si tratta di un metodo in base al quale, al fine di dotare il robot di alcune capacità, si studiano i meccanismi attraverso i quali i sistemi biologici rendono possibili determinate funzioni. Da questo studio emergono dei modelli che vengono poi applicati alla robotica. Si tratta di approcci che hanno prodotto risultati molto importanti a partire dagli anni Novanta, un periodo molto interessante

nel quale si è anche sviluppata la neurorobotica. La robotica bioispirata non imita letteralmente i sistemi biologici, in quanto noi abbiamo una conoscenza empirica delle neuroscienze e della biologia. Ad esempio, non abbiamo le equazioni del controllo motorio, ma abbiamo dei modelli, che possono essere applicati sui robot oppure utilizzati per sviluppare robot che possano sostituire funzionalmente o coadiuvare le funzioni umane. Un discorso simile può valere anche per l'intelligenza artificiale. Non si tratta di emulare l'intelligenza umana, ma di cercare di simularne il funzionamento e i meccanismi. Dove si arriverà? Queste metodologie sviluppate scientificamente possono essere tradotte in tecnologie in grado di risolvere problemi contingenti, come il riconoscimento facciale. Si crea un'interazione tra scienza, tecnologia ed economia dal notevole potenziale trasformativo. Quando parliamo del rapporto tra robotica e applicazioni mediche, è difficile stabilire il confine tra naturale e artificiale. Pensiamo ad esempio alle neuroprotesi, che sostituiscono la funzione umana e sono impiantate nel corpo oppure alle protesi osteointegrate. In questi casi la fusione con il corpo umano e con le sue parti interne è talmente forte che non ha più senso stabilire un confine.

*All'interno di un ambito che lei conosce bene, quali sono a suo avviso gli scenari delle applicazioni di robotica e intelligenza artificiale in ambito sanitario? Quali sono le frontiere dell'applicazione di queste tecnologie nei confronti del sostegno alle fragilità?*

**Carrozza:** Una prima questione generale riguarda le peculiarità che presenta l'ambito medico rispetto ad altri tipi di applicazioni della robotica. In altri ambiti si tratta soprattutto di trarre da una scoperta



scientificamente una tecnologia suscettibile di applicazioni utili e commercialmente rilevanti, rispettando le norme di sicurezza e di tutela della privacy. Pensiamo, ad esempio, a come lo sviluppo di un sistema di reti neurali e di *machine learning* permetta di sviluppare una capacità di interpretazione delle immagini, e quindi anche di riconoscimento dei volti, e alla possibilità di integrare questa funzione in device come smartphone o tablet, che acquisiscono così una nuova funzionalità. Il discorso è ben diverso quando pensiamo all'applicazione di una tecnologia di questo tipo in un campo come la medicina, ipotizzando, ad esempio, l'utilizzo delle tecnologie di riconoscimento di immagini in attività di diagnosi. Poiché in questo caso siamo di fronte all'automazione di un processo clinico, entriamo in un ambito particolarmente delicato, dove vigono protocolli sanitari che si basano su provate evidenze scientifiche e dove va tenuto in primaria considerazione il rapporto medico-paziente. Questo tipo di applicazioni di tecnologie robotiche e di intelligenza artificiale deve essere sviluppato e validato basandosi su rigorose sperimentazioni scientifiche, su trial clinici, sul parere di comitati etici preposti, sul consenso informato dei pazienti e su metodologie che prevedano il corretto trattamento dei dati sanitari. Questo è vero in ambiti prettamente diagnostici, ma può avvenire anche – ad esempio – nel caso dello sviluppo di un esoscheletro pensato per assistere una persona con disabilità causate da malattie neurodegenerative o da lesioni neurospinali. Questo comporta un ulteriore passaggio: all'automazione del processo di analisi delle immagini si aggiunge un supporto funzionale e fisico che il paziente riceve. È la robotica che consente di fornire questo tipo di assistenza motoria. Questo avviene combinando capacità e controllo del

movimento e intelligenza artificiale. Si tratta di applicazioni molto complesse: parliamo di sistemi indossabili molto difficili da realizzare, che devono essere paralleli al corpo umano e dotati di manipolatori robotici in corrispondenza degli arti. Questo, come dicevo, pone specifiche complessità e necessita di attenzione ulteriore. Un sistema di intelligenza artificiale programmato per compiere un'analisi facciale per regolare l'ingresso in un edificio può fallire una volta su cento senza che questo comporti conseguenze preoccupanti: il rischio è quello di restare qualche minuto in più davanti ad una porta che non si apre. Ciò naturalmente non vale per un sistema robotico progettato per effettuare operazioni al cuore. La differenza è enorme e sostanziale: la presenza di responsabilità cliniche crea un contesto radicalmente diverso. I robot esoscheletrici, inoltre, devono essere pensati per soggetti con una fragilità elevata. Hanno poi un mercato più piccolo rispetto ad altre applicazioni, industriali o commerciali, della robotica e dell'intelligenza artificiale. Queste ultime possono contare per il loro sviluppo su una diffusione maggiore e su una produzione su più vasta scala che, come sempre, permette il miglioramento dell'efficienza attraverso la ripetizione dei processi e la raccolta di dati. Tutti questi elementi aiutano a capire la complessità enorme dell'ambito delle applicazioni medicali.

*Quali sono a suo avviso le questioni aperte dalle frontiere della robotica in termini etici?*

**Carrozza:** Da un punto di vista etico ci troviamo di fronte a problematiche tipiche delle applicazioni terapeutiche o assistenziali. È necessario, ad esempio, riuscire a dimostrare con sufficiente evidenza scientifica che i benefici apportati da questi strumenti superano

le eventuali controindicazioni e i rischi che possono essere associati al loro uso. Questo implica la necessità di sviluppare un'adeguata sperimentazione clinica, con un campione statistico sufficientemente alto che ci possa confortare da questo punto di vista. In clinica si parla, a questo proposito, di 'appropriatezza'. Per esempio, l'appropriatezza dell'utilizzo della robotica in riabilitazione deve essere ancora del tutto dimostrata con evidenza scientifica. Questa è una sfida che abbiamo superato con importanti risultati in alcuni casi, ma che dobbiamo ancora affrontare su vasta scala, ed è una sfida fondamentale per i sistemi robotici in tutte le applicazioni mediche. Il secondo aspetto etico riguarda la richiesta che la soluzione robotica sia commisurata al bisogno e al beneficio clinico che se ne può trarre. Ad esempio, una neuroprotesi impiantata nel sistema nervoso centrale è eticamente giustificata solo in casi di disabilità estremamente gravi, perché l'invasività dell'impianto è troppo alta per giustificare l'intervento con un diverso quadro clinico. Il terzo aspetto riguarda l'eticità e il rispetto delle normative in termini di trattamento dei dati personali, di diritti di proprietà e di consenso informato sull'utilizzo dei dati per la ricerca, aspetti in cui esistono punti critici. Ogni volta che si fa un intervento terapeutico importante che utilizza e genera dati, la proprietà di questi dati deve restare al paziente che deve dare il consenso sul loro utilizzo per fini scientifici, anche per evitare che servano ad operazioni commerciali. Ben note dinamiche di sfruttamento dei dati personali sono al centro del modello di business dei giganti del digitale e nel caso dei dati sanitari è ancora più forte la necessità di vigilare e di adottare le migliori politiche di gestione. Proprio in questa direzione si muove il *Regolamento*

*generale sulla protezione dei dati* – GDPR adottato dall'Unione Europea e al quale anche gli ospedali e le strutture sanitarie devono sottoporsi. Proprio perché il rischio per la privacy è forte, è fondamentale fare in modo che chi utilizza questi strumenti venga tutelato, anche per evitare disuguaglianze e marginalizzazioni.

*Da un punto di vista internazionale, quali sono i Paesi leader dell'industria robotica? Quali sono i modelli di ricerca e di collaborazione fra accademia e industria in ambito robotico?*

**Carrozza:** La robotica si è sviluppata inizialmente in contesti dove era presente un'industria automobilistica molto forte. Anche la robotica di servizio, nei Paesi in cui poi è stata sviluppata, è nata primariamente dall'automazione industriale. Parliamo di Germania, Stati Uniti, Italia, Giappone e Corea del Sud. Il Giappone, per molti aspetti, è stato la culla della robotica, ma negli ultimi anni, grazie agli importanti investimenti effettuati, anche la Cina ha fortemente incrementato il proprio interesse per i robot, tanto che attualmente rappresenta uno dei mercati di assorbimento più importanti per la robotica globale. Non si tratta, d'altronde, solo di un importante acquirente di robot. La Cina sta anche cercando di sviluppare una propria capacità produttiva autonoma e non ho dubbi nel dire che proprio la Cina rappresenta il Paese più promettente per gli sviluppi futuri della robotica. In questo contesto è chiaro, quindi, che l'Italia debba chiedersi su quali spazi e su quali nicchie specifiche può contare. A mio avviso, la corretta risposta è legata all'ambito europeo e alla valorizzazione di quello che abbiamo in termini di una consolidata cultura della robotica. Occorre comunque attuare importanti investimenti, anche

tenendo conto dei rilevanti programmi di ricerca che sono in corso in Cina, per applicazioni industriali, e negli Stati Uniti, per applicazioni militari. Tutto dipende da quanto si investe nella ricerca e da quanto si vuole far maturare il settore nel suo complesso, accompagnandolo non solo con investimenti ma sostenendolo anche per quanto riguarda la validazione, lo sfruttamento della proprietà intellettuale e lo sviluppo delle startup. In Italia su questi temi scontiamo un certo ritardo, anche per una tendenza invalsa a far prevalere il diritto amministrativo sulle logiche dell'innovazione. Ad esempio, abbiamo avuto un periodo in cui eravamo molto progrediti per quanto riguarda molto *spin-off*, ma poi sono stati fatti alcuni

passi indietro, dovuti anche ad un eccesso di normazione che può implicare una certa presunzione di colpevolezza. Il diritto amministrativo invece fa parte, o dovrebbe far parte, del meccanismo di innovazione. Più in generale, ritengo che poter contare su un ecosistema favorevole all'innovazione sia tanto importante quanto la presenza di forti flussi di investimenti.

*Più in generale, quali dovrebbero essere a suo avviso i rapporti fra ricerca pubblica e ambito privato? Qual è la situazione per quanto riguarda il trasferimento tecnologico? Quali sono i punti di forza e quelli di debolezza del nostro Paese da questo punto di vista? A quali modelli occorrerebbe guardare?*



**Carrozza:** Sicuramente possiamo contare su alcuni punti di forza, tra cui il sistema di norme che favorisce il trasferimento tecnologico. Occorre però evitare che un eccesso di controllo e di sbarramenti burocratici blocchi lo sviluppo del sistema. Va poi ricordato che, se è vero che sono state adottate importanti norme sul trasferimento tecnologico, la flessibilità del sistema universitario resta limitata. Il meccanismo dei concorsi non è mutato e non esiste la possibilità di rimodulare i tempi di lavoro e l'impegno universitario. Le modalità utilizzate da alcune università statunitensi, nelle quali è possibile lavorare tre giorni per l'università e tre giorni per una startup, o che garantiscono la possibilità di lavorare in un'impresa privata e poi di rientrare nel settore pubblico, potrebbero essere introdotte in Italia, dove invece si opera in un sistema molto più rigido. Vi è poi la questione degli stipendi: per attrarre competenze e talenti dall'estero è necessario avere la possibilità di retribuirli in maniera adeguata, anche negoziando e variando i livelli degli stipendi. Soprattutto per il ricercatore universitario, poi, lo stipendio è molto basso nel confronto internazionale, e non è aumentato negli ultimi anni. Un'altra criticità riguarda i 'compartimenti stagni' tra scuola e università. Infine, una cosa che ho imparato nella mia esperienza in una grande Fondazione non profit riguarda l'importanza di costruire un sistema di alleanze tra pubblico e privato – di cui io mi occupo molto anche a livello europeo –, che possono contribuire in maniera importante all'uscita dalla crisi che stiamo vivendo, e proprio in quest'ottica vanno rilanciate. Il terzo settore ha bisogno di una grande attenzione perché sta attraversando una riforma incompiuta, e invece può rappresentare uno strumento cruciale per il nostro Paese

e la valorizzazione della iniziativa privata a grande impatto sociale.

*Dal punto di vista del sistema economico, qual è in Italia lo stato di salute del settore robotico? Ci sono eccellenze? C'è un ecosistema di startup in salute? Quali sono gli effetti della mancanza di grandi imprese?*

**Carrozza:** Il sistema italiano della robotica soffre della frammentazione delle piccole e medie imprese tipica dell'economia italiana nel suo complesso. Ci sono alcune grandi imprese, ma sono realtà che in Cina o negli Stati Uniti verrebbero definite medie o anche piccole, perché il concetto di piccola, media e grande impresa varia sensibilmente da Paese a Paese. Occorre molta cautela e un attento ragionamento su questo punto. Da questa estrema frammentazione dovrebbe derivare una particolare attenzione rivolta al mondo dell'automazione – che è un ambito in cui l'Italia è molto forte – mirante a favorire alleanze e crescita dimensionale. Si dovrebbe poi investire sui ricercatori e favorire un cambiamento culturale. A volte, infatti, vi è la tendenza a opporsi all'ingresso di grandi imprese o fondi d'investimento, compromettendo così la crescita dei progetti imprenditoriali. Ma, dall'altra parte, occorre anche che chi investe nel campo tecnologico abbia le conoscenze e gli strumenti per poter scegliere al meglio dove investire. Una impresa innovativa è una realtà diversa da una grande azienda e richiede, ad esempio, una filiera più corta e decisioni più snelle. Questo ecosistema innovativo, di cui le startup sono parte, va supportato fino in fondo, perché per l'Italia è fondamentale. Tendiamo invece spesso a non presidiarlo adeguatamente. Nella sostanza sono poche le misure realmente efficaci adottate. Ci sono, ad esempio, importanti incentivi fiscali rivolti all'acquisto di

attrezzature e macchinari, ma l'acquisto di nuove attrezzature non è sufficiente per entrare nella quarta rivoluzione industriale o nella rivoluzione digitale. Occorrono cambiamenti organizzativi in grado di gestire la trasformazione digitale nel modo opportuno e investimenti in formazione del personale. Una delle infrastrutture più importanti per la trasformazione digitale sono le persone e le loro conoscenze e capacità, ma in Italia manca questa consapevolezza. Le grandi imprese dovrebbero inoltre permettere alle startup di svilupparsi in modo armonico; ho assistito purtroppo a casi in cui la grande impresa non ha agito per promuovere lo sviluppo della startup, ma lo ha bloccato adottando gli stessi canoni di management propri della grande impresa.

*Di recente ha assunto un nuovo importante incarico, diventando Presidente del CNR. Anche alla luce di quanto detto, quali pensa siano le direzioni principali nelle quali il mondo della ricerca dovrebbe evolvere per rispondere ad alcune delle criticità evidenziate in questa intervista? Quali possono essere gli strumenti per favorire l'emergere di una cultura dell'innovazione in Italia? Quali ritiene potrebbero essere gli spazi di alleanza e collaborazione tra mondo della ricerca e mondo della scuola?*

**Carrozza:** Come Presidente vorrei cominciare dall'ascolto, documentarmi, studiare questo Ente così complesso e incontrare chi ci lavora. Spero anche, dopo tutta questa attività a distanza, che sia possibile il lavoro in presenza, il contatto fisico, per quanto possibile nel rispetto delle regole anti-Covid. Dobbiamo tutti assieme riportare la ricerca scientifica al centro dell'attenzione sociale, economica e politica, affermarla quale unico volano per la ricostruzione del Paese dopo la

pandemia e per assicurare il futuro dei giovani. Per collegarmi a quanto dicevo, si potrebbe pensare a carriere che permettano di lavorare a tempo parziale nella scuola e al tempo stesso fare ricerca all'università. La ricerca non dovrebbe essere separata dall'insegnamento, a mio giudizio: sono ambiti che sarebbe importante considerare in maniera unitaria. Chi lavora negli enti di ricerca e fa ricerca scientifica ad alti livelli ha anche un contributo importante da dare nell'insegnamento, e aprire la possibilità di insegnare può risultare molto importante e formativo anche per gli studenti.

