
LA ROBOTICA UMANOIDE[†]

REMO RICCHETTI

Progettista Percro Perceptual Devices Division

CARLO ALBERTO AVIZZANO

Responsabile Scientifico Lab. Percro

MASSIMO BERGAMASCO

Direttore del Laboratorio Percro

Laboratorio Percro- Scuola Superiore di Studi Universitari e Perfezionamento S.Anna, Pisa

1. Introduzione

Le macchine sono entrate nella nostra vita da tempo, da tempo le consideriamo parte naturale del nostro orizzonte quotidiano. Ci conviviamo, le utilizziamo costantemente e non ci fa più nessuna meraviglia il puntuale (pressoché) funzionamento di ogni meccanismo anche molto complesso, che si svolge naturale al nostro semplice premere un bottone, tanto che, anzi, ci pare straordinario il verificarsi del contrario: che talvolta qualcosa non vada per il suo verso. Quando ciò accade, quella consuetudine ormai plurigenerazionale acquisita con la coabitazione con le macchine ci porta ad atteggiamenti irrazionali: si va dall'irritazione pronunciata contro un Ente Creatore Tecnologico (talvolta anche non solo) al tentativo di negoziazione con la macchina (che ti succede? funzionavi fino a poco fa). La lettura spiritosa delle nostre abitudini è parziale almeno quanto l'atteggiamento preteso razionale o ingegneristico che troverà infallibilmente il necessario motivo del malfunzionamento ma che ci porterebbe a non renderci conto della componente sociale che le macchine hanno ormai assunto nella nostra vita.

Se siamo ormai talmente tanto abituati alle macchine che comandiamo direttamente (le automobili, gli utensili elettrici, oggetti complicati come gli orologi e persino gli aeroplani) da considerarle per l'appunto 'oggetti', pure semplici comportamenti 'autonomi' esibiti da una macchina sono ancora in grado di stupirci secoli dopo la rivoluzione industriale e dopo millenni dalla realizzazione dei primi prodigi semoventi. In certi casi, complice l'ignoranza o un'ingenuità naïf, lo stupore lascia spazio ad atteggiamenti apocalittici in cui «la macchina prende il sopravvento» sull'uomo.

Come succede spesso, tali tematiche tecnologico-sociali emergenti vengono

anticipate da immaginazioni ben più fervide di quelle degli addetti ai lavori. La coabitazione di uomo e macchina, specie se di macchina senziente e antropomorfa, da sempre esercita un fascino intellettuale che affonda le sue radici nello spirito prometeico, di sfida dell'Uomo a Poteri superiori, che altri vorrebbe, così, sacrilegamente violati.

Molti lettori di fantascienza hanno care le leggi della robotica di Asimov:

0. Un robot non deve provocare danno all'umanità sia tramite la sua azione che tramite un comportamento passivo.
1. Un robot non deve ferire esseri umani o tramite la sua non azione consentire un danno agli stessi.
2. Un robot deve obbedire agli ordini degli esseri umani eccetto quando questi siano in contrasto con la prima legge.
3. Un robot deve agire per proteggere la sua stessa esistenza fintanto che tali azioni non siano in contrasto con le prime due leggi.



Figura 1 - La copertina dell'edizione Urania di Io, Robot.

Le leggi della robotica, elaborate e codificate dallo stesso scrittore e pubblicate in *Handbook of Robotics* erano inizialmente tre. Sono poi state completate con l'aggiunta della legge 0. Tali leggi codificano le norme etico/comportamentali che un qualsiasi robot deve rispettare. L'organizzazione delle leggi, piuttosto che identificare compiti specifici che un robot deve assolvere si limita a definire il ruolo che questi dispositivi possono assumere all'interno della società, vincolandone l'autonomia di comportamento riguardo alla sicurezza del singolo uomo e dell'intera umanità, quindi alla sua manifestazione di volontà¹.

Le leggi di Asimov, pur avendo costituito un caposaldo della narrativa e della cinematografia robotica, sono solo marginalmente state applicate nel corso della ricerca e dello sviluppo di tecnologie robotiche. Ad esempio, le tecnologie militari, e la robotica associata, hanno da sempre concepito il robot come uno strumento di aggressione in chiara violazione delle norme etiche comportamentali fissate da Asimov. In campo medico, robot automatici e/o semiautomatici possono recare 'offesa' ai pazienti al fine di portare a termine l'operazione secondo le volontà di un chirurgo. In campo formativo,

dei robot possono opporsi alla volontà dei discenti al fine di mostrare forme e gesti di un comportamento corretto.

È il caso della trasmissione della conoscenza cosiddetta enattiva, o *embodied cognition*, quella modalità di trasferimento di informazione non verbale tipica dell'apprendimento operativo, frequente nell'apprendistato degli artigiani o nell'insegnamento del ballo o di altri gesti, per esempio sportivi, in cui l'informazione è a volte completamente contenuta nel gesto. Un robot che dovesse guidare l'utente ad apprendere il movimento corretto si troverebbe spesso nella necessità di opporsi a movimenti scorretti che peraltro sarebbero espressione della volontà del suo utente umano. Più comunemente questi conflitti si verificano nella robotica riabilitativa, dove macchine seguono e guidano il movimento degli arti dei pazienti forzandoli a recuperare determinate mobilità.

Pertanto è sbagliato pensare che tali leggi debbano sempre e comunque essere un punto di riferimento per lo sviluppo di sistemi robotici.

Se è ingenuo pensare che queste leggi siano sufficienti e conchiuse, considerevole è la notizia che le leggi di Asimov saranno il punto di partenza della carta sull'etica dei robot che il ministero dell'industria coreano ha annunciato di voler pubblicare in previsione della stretta collaborazione fra uomini e robot già nel prossimo decennio. Questo per dire come l'approccio non strettamente scientifico o tecnico sia in grado di individuare con ampio anticipo tendenze ed esigenze sociali.

La storia della robotica è tuttavia costellata di anticipazioni e suggestioni letterarie e mitiche.

2. La robotica umanoide fra storia e mito

La parola 'robot' è stata introdotta nell'uso dal drammaturgo ceco Karel Čapek per indicare il lavoro non volontario nella sua opera teatrale *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)* nel 1921. Nella fantasia dell'autore organismi assoggettati vengono utilizzati per il lavoro pesante, nuovi schiavi. I robot di Čapek erano però organismi, non macchine. L'etimologia della parola robot è comunque da ricondursi al ceco 'robotá' che significa *schiavo*.

Per l'accezione attuale del termine robotica come disciplina relativa allo studio ed all'uso dei robot bisogna attendere il 1942, anno in cui il già citato Isaac Asimov pubblica *Runaround*, un racconto ripreso più tardi nel più famoso *Io, robot*. Se la parola nell'accezione attuale nasce nella prima metà del secolo scorso, l'interesse per la creazione di entità capaci di replicare (anche parzialmente, anche e soprattutto in maniera imperfetta) le funzioni e le forme dell'uomo si perde addirittura nel mito.

Già nella mitologia greca Efesto aveva creato un uomo di bronzo posto a difesa dell'isola di Creta: il gigante Talo. Esso traeva vita da un'unica vena che lo percorreva tutto nella quale scorreva metallo fuso e che era chiusa da una vite in prossimità del tallone, sito delicato come per altri invincibili.

Notizie di prime macchine se-moventi risalgono al VI secolo d.C. La nostra attuale familiarità con organismi meccanici rischia di non farci comprendere la sorpresa

che poteva causare un semplice meccanismo a molla, in quel tempo. Se qualcosa di evidentemente artificiale si muoveva, il primo pensiero era che celasse all'interno un essere vivente, un animale o addirittura un uomo, e vi sono stati importanti esempi in questo senso. La capacità dunque di realizzare macchine che comprendessero in sé un motore aveva un tale carattere di straordinarietà di far denominare questi oggetti come 'prodigi'.

Maestri nella costruzione di macchine se-moventi (con caratteristiche eminentemente spettacolari ed ornamentali) furono gli arabi Banu Musà: tre fratelli espertissimi nella costruzione di macchine idrauliche nelle quali figure umane ed animali si muovevano con schemi naturalmente ripetitivi ma con tecnologie talmente sofisticate per l'epoca che andarono perdute con la scomparsa della famiglia. Dopo di loro si rientra in una fase oscura di mito: si racconta di teste parlanti: oggetti sapienti che sapevano dare risposte sagge alle domande che venivano poste loro. Due di tali esempi erano in possesso e fecero la leggendaria fortuna del papa millenarista Silvestro II e di Alberto Magno².

Per i secoli successivi gli unici riferimenti a repliche di uomo restano nel fantastico: il golem del rabbino Löw³, gli homunchuli alchemici del Faust, lo stesso mostro, nel senso esatto di essere straordinario, di Frankenstein.

Dalle macchine sofisticate e dimenticate dei Banu Musà è passato un millennio quando nelle corti d'Europa si risveglia la curiosità per le macchine complicate. Probabilmente complice la nascita degli orologi meccanici, viene considerato gran prestigio avere di questi oggetti e non mancarono le beffe.

La più famosa e duratura di queste riguarda il giocatore di scacchi di Kempelen⁴, una macchina con le sembianze di un turco giocatore di scacchi che giocava contro qualsiasi giocatore umano, facendo anche conversazione. Il suo ideatore, ad onor del vero, dichiarò la presenza di uno stratagemma, ed infatti la macchina giocava e vinceva grazie alla presenza al suo interno di un nano, perfettamente dissimulato e la cui presenza non risultava alle perquisizioni che il barone di Kempelen, alla stregua degli illusionisti, permetteva ai curiosi. Ciononostante per circa un secolo, la macchina girò per l'Europa e gli Stati Uniti precorrendo le notizie sulla vera natura del suo funzionamento, individuate ben 50 anni dopo il suo apparire da Edgar Allan Poe

Questa macchina, se non può essere considerata un robot perchè non autonoma, pure è notevolissima come esempio di teleoperazione. L'operatore all'interno infatti aveva una replica della scacchiera sulla quale muoveva i pezzi il suo sfidante. Su questa scacchiera un meccanismo magnetico riportava le mosse dello sfidante e un altrettale sistema consentiva all'operatore nascosto di comandare al manichino di spostare i pezzi secondo le mosse effettuate sulla scacchiera nascosta.

Un sistema di teleoperazione permetteva anche la conversazione che avveniva facendo indicare al manichino una sequenza di lettere su una tabella. Purtroppo la macchina è andata perduta e ne restano solo delle descrizioni. La macchina di Kempelen, creata nel 1769, resta in giro per il mondo a stupire gli spettatori fino al 1860.



Figura 2 - Il giocatore di scacchi del Barone di Kempelen.

Un segno che i tempi erano maturi per una tecnologia meccanica meno ludica è il telaio di Jacquard. Non è una macchina antropomorfa ma può essere considerata la prima macchina programmabile della storia. Siamo nel 1805.

Per tutto l'Ottocento gli automi non furono altro che giocattoli di lusso, arditi esercizi di orologiai che costruivano manichini che suonavano il flauto o scrivevano lettere con bella grafia e movimenti armoniosi delle loro membra. I vari Droz, Fabergé e Vaucanson furono virtuosi di queste delicate costruzioni, sterili nel loro effettivo utilizzo ma testimoni di una capacità tecnica elevata quanto staccata dalle esigenze e valenze sociali che noi ora vediamo nelle macchine.

È solo all'inizio del secolo scorso che, come abbiamo visto, si affaccia l'idea di macchine automatiche ed autonome che sollevino l'uomo da impegni gravosi, pericolosi o usuranti e perchè tale concetto si trasferisca dalla mente degli scrittori a quella dei tecnologi dobbiamo attendere la metà del secolo.

È infatti il 1948 quando Norbert Wiener pubblica un libro (*Cybernetics or Control and Communication in the Animal*) che descrive i concetti di comunicazione e controllo in sistemi elettronici, meccanici e biologici.

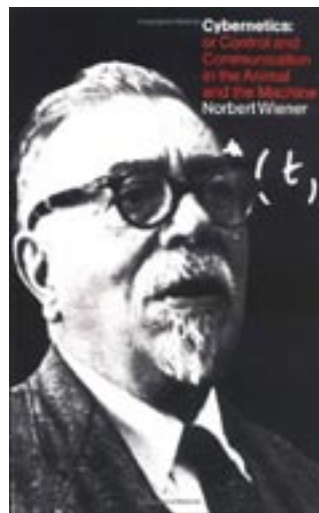


Figura 3 - La copertina del volume di Norbert Wiener.

La Robotica ‘vera’, ovvero quella realizzata con sistemi e teorie scientifiche come noi oggi siamo abituati a vederla, nasce qualche anno più tardi. Nel 1951, in Francia presso la CEA (Commissione per l’Energia Atomica), Raymond Goertz progetta il primo sistema robotico teleroperato. Si tratta di un prototipo di pantografo meccanico, dotato di controlli e di pinze per realizzare la manipolazione a distanza sostanze radioattive. Uno spesso vetro, posizionato tra operatore e materiale contaminante, provvede a isolare l’uomo, mentre il meccanismo, sfruttando opportune proprietà cinematiche, riproduce fedelmente i movimenti del soggetto nell’ambiente ostile. Qualche anno più tardi sarà lo stesso Goertz a ripresentare il concetto di teleoperazione basato su una architettura di controllo elettromeccanica e non più soltanto elettrica. È il primo passo verso l’automazione industriale: la macchina esegue a distanza le intenzioni dell’uomo.

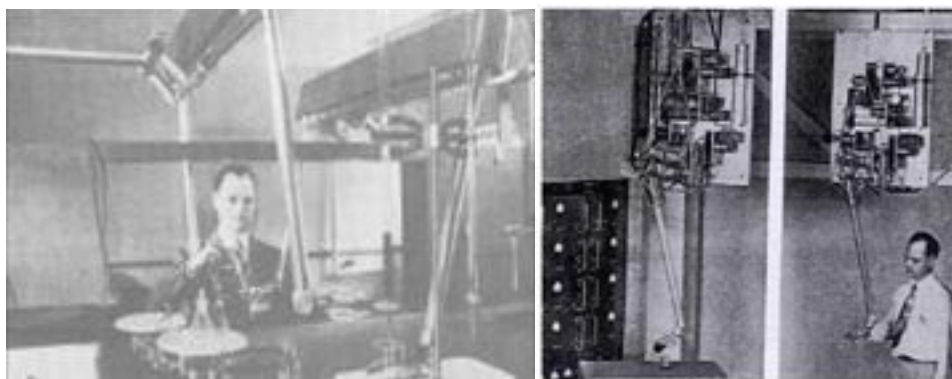


Figura 4 - I sistemi di Devol e Goertz.

Nel 1954 George Devol progetta il primo robot programmabile e conia il termine Automazione Universale (che poi sarà usato per la compagnia UNIMATION) la prima compagnia di robotica al mondo.

Nel 1959 Marvin Minsky e John McCarthy fondano il laboratorio di intelligenza artificiale al Massachusetts Institute of Technology (MIT). L'Istituto Tecnologico del Massachusetts, svolgerà successivamente un ruolo fondamentale sia come 'fabbrica di cervelli' nel campo della robotica, che come soggetto promotore di attività di ricerca e industriali.

Nel 1963 John McCarthy, fuoriscito dal MIT, fonda il laboratorio di intelligenza artificiale alla Stanford University. Nel 1964 anche il Giappone fonda i suoi primi laboratori basati sulla teleoperazione elettrica.

Nel 1965 la teoria delle trasformazioni omogenee rivoluziona la cinematica dei robot fornendo dei modelli analitici esatti per la pianificazione dei movimenti ed il calcolo delle leggi di controllo. Da questo punto in poi, le novità in campo scientifico e industriale si susseguono rapidamente. Solo per citarne alcune: nel 1967 il Giappone importa il suo primo robot (il Versatran) prodotto dalla AMF; nel 1968 La Kawasaki acquista la licenza di un progetto per robot idraulici ed inizia la sua prima produzione in Giappone, Nel 1970 Victor Scheinman (alla Stanford University) progetta lo Standard Arm⁵; nel 1970 viene progettato a Waseda il primo Humanoid Robot; è di questo periodo anche l'invenzione e l'introduzione commerciale dei primi microcomputer; nel 1973 la Cincinnati Milacron commercia il T3, il primo robot industriale controllato da un minicomputer; nel 1976 braccia robotiche sono usate sulle missioni spaziali Viking 1 e 2.

3. Che cos'è e com'è fatto un robot

Un robot è «un manipolatore riprogrammabile e multifunzionale progettato per spostare materiali, componenti, attrezzi o dispositivi specializzati attraverso vari movimenti programmati per la realizzazione di vari compiti» (Robot Institute of America, 1979).

Nell'accezione della lingua italiana il termine 'robot' indica una «macchina automatica capace di svolgere, con opportuni comandi, alcune funzioni o attività proprie dell'uomo; automa meccanico».

In entrambi i casi ci si rende conto che la definizione di robot che possiamo trovare sulle fonti ufficiali, non risulta al passo con i tempi. In molti casi, mentre la visione di Isaac Asimov era oltremodo avanzata, futuribile, queste definizioni si limitano ad un concetto di sistema robotico, limitato agli aspetti di automazione industriale tipici degli anni settanta. Gli sviluppi concorrenti delle tecnologie robotiche avuti nel corso degli anni ottanta/novanta hanno tuttavia rivoluzionato il concetto di robot, trasformandolo da strumento di servizio in ambienti industriali di tipo strutturato, in sistema di utilità e collaboratore dell'uomo nel suo stesso ambiente. Come vedremo, intelligenza artificiale, optoelettronica, microelettronica e mecatronica hanno concorso a contribuire a questa trasformazione.

Ad oggi potremo definire 'robot' un sistema elettromeccanico riprogrammabile, dotato di capacità di percezione e di un'intelligenza propria, predisposto per compiere un ampio numero di compiti diversi. I robot si differenziano per applicazione, struttura

ed attuazione in diverse categorie: da robot mobili a manipolatori industriale, da robot chirurgici a sistemi di addestramento.

La realizzazione ed il funzionamento di un robot vengono ottenuti tramite l'integrazione di una serie di componenti diverse così definite: parti meccaniche, sistema di trasmissione, sistema di attuazione, elettronica di controllo e rilevazione, sistema di calcolo e controllo, software comportamentale.

Le componenti meccaniche individuano le parti strutturali del manipolatore. Le parti strutturali vengono a loro volta suddivise in due categorie: i link ed i giunti. I primi costituiscono il corpo del manipolatore, i secondi le articolazioni mobili. Due sono i tipi di giunti base (rotativo e lineare) anche se sono d'uso giunti più complessi: *screws*, giunti sferici ... Alla progettazione della meccanica di un manipolatore contribuiscono specifiche prestazionali ed operative determinate dalla specifica applicazione cui il manipolatore è destinato. A seconda della specifica combinazione di giunti e di link, un manipolatore potrà appartenere a diverse categorie: seriale, seriale diramato, parallelo, ibrido.

La trasmissione si occupa di trasmettere l'energia prodotta da un sistema di attuazione alle articolazioni del robot. Esistono diverse tecnologie tramite le quali tale trasmissione può essere determinata: diretta (il motore è sull'asse del giunto), a cinghia, a cavi ...

L'attuazione invece è la sorgente di energia che fornisce movimento al robot, gli attuatori si distinguono in due classi: lineari e rotativi. I primi possono agire in senso alternato lungo una linea di movimento, i secondi ruotare attorno un asse. Inoltre l'attuazione si distingue sia per classificazione fisica del mezzo di trasmissione dell'energia (elettrica, idraulica, pneumatica) che per specifico principio di trasduzione (piezoelettrica, a induzione)

L'elettronica di un robot è forse la componente con maggiori varianti possibili. Essa si distingue in due parti: la componente di acquisizione e quella di attuazione. La prima serve a raccogliere informazioni ambientali (quali la posizione del robot, forze di contatto, accelerazioni, visione, temperatura, ...) la seconda a trasformare le indicazioni del sistema di controllo in segnali elettrici idonei a pilotare i motori. I sistemi di attuazione (*driver*) sfruttano una relazione diretta tra una variabile elettrica controllabile e l'azione meccanica da esercitare. Nel caso dei motori elettrici generalmente si controlla la relazione tra la tensione-corrente presentata al motore e la coppia/velocità di esercizio.

Il controllo di un robot si occupa di coordinare i segnali elettronici rilevati dal sistema di percezione per produrre segnali di movimento da trasdurre in opportuni comandi elettrici per i motori. Sebbene originariamente sono stati creati anche meccanismi di controllo meccanici, due categorie di controlli sono attualmente in uso: controlli elettronici e controlli digitali. La tendenza, sia per questioni di costo che di affidabilità è comunque nel digitalizzare tutti i controlli.

Il software comportamentale definisce infine il compito e le relazioni del robot con

l'ambiente circostante. Diverse famiglie di software comportamentali sono disponibili e si differenziano prevalentemente in base al campo di applicazione. Alcuni esempi includono: inseguimento di traiettorie preimpostate (automazione industriale) ovvero fornite in tempo reale (teleguida, teleoperazione), rilevazione di parametri (controllo qualità, ispezione), analisi semantica dei dati rilevati (sorveglianza, navigazione autonoma), inseguimento di fattori di merito (ausili tecnologici, *extender*, ...). Inoltre il software comportamentale include un'ampia famiglia di soluzioni analitiche/numeriche per risolvere specifici problemi di movimentazione: cinematica diretta, cinematica inversa, pianificazione di traiettorie.

4. Tendenze nello sviluppo della robotica umanoide

Sin dalla coniazione del vocabolo, il termine 'robot' è stato strettamente associato a caratteristiche di sistemi elettromeccanici di tipo antropomorfi. La stessa rappresentazione del R.U.R. raffigurava un manichino dalla forma umana. Durante gli ultimi 70 anni, narrativa e cinematografia hanno prevalentemente immaginato la figura del robot come un essere meccanico dalle sembianze umane.

L'idea di ricostruire un robot dalle forme umane, è oggi solo una delle linee di ricerca della robotica moderna: la robotica umanoide, ma ciononostante costituisce tuttoggi una delle sfide più ambiziose sia per le complessità di percezione e meccaniche insite, sia per la difficoltà di ricreare il coordinamento motorio e l'intelligenza propria degli esseri umani.

I primi esperimenti di ricostruire robot dalle forme umane risalgono alle ricerche della Waseda university dei primi anni '70. Nonostante un trentennio abbondante di ricerca nel settore, tuttavia la realizzazione di un sistema che si avvicini alle prestazioni umane è ancora lontana. I due risultati più di successo nel settore sono il robot umanoide realizzato dalla Honda e presentato nel 1998 (P3 ed ora Asimo) e il Sony Dreaming Robot, oggi alla sua 4 versione. Entrambi hanno capacità di locomozione e equilibrio, e sono in grado di eseguire dei compiti elementari in accordo a traiettorie e movimenti preimpostati.

È interessante notare che il robot Honda ha subito, durante lo sviluppo, un forte decremento delle dimensioni suggerito anche da considerazioni sull'accettabilità sociale della macchina. Al di là degli ovvi vantaggi d'ingombro, massa e conseguenti complessità di controllo e attuazione, si era registrato che l'utente umano nell'interazione con il modello P3, sebbene questo fosse di statura inferiore ad una persona media, avvertiva disagio e timore. L'attuale Asimo è considerato più accettabile e rassicurante. È altrettanto notorio che uno degli ambiziosi obiettivi (di straordinario impatto sul piano comunicativo) del progetto di robot umanoide Honda prevede di sfidare con undici robot in una partita di calcio, nel 2050, la nazionale campione del mondo in carica.



Figura 5 - Due versioni di P3 e Asimo: si noti la differenza relativa di dimensioni.

La robotica prende piede nella società negli anni '70 come supporto alla produzione industriale. In quel periodo, l'ambiente in cui opera il robot e l'ambiente in cui opera l'uomo sono completamente separati al fine di garantire i margini di sicurezza agli operatori necessari. I primi robot inoltre operavano in ambienti completamente strutturati, ovvero dove le posizioni di tutti gli elementi con cui il robot doveva interagire erano note a priori. Successivi sviluppi della robotica, come la visione artificiale, hanno poi consentito di ridurre i vincoli imposti nell'ambiente.

Successivamente la robustezza e i ridotti rischi umani collegati all'impiego dei robot hanno indotto i ricercatori a progettare nuovi sistemi, detti di teleoperazione, in cui i robot erano capaci di trasportare in ambienti remoto e/o ostili le capacità di azione di un operatore umano. L'avvento della teleoperazione ha introdotto nel paradigma di azione dei robot una profonda trasformazione dal momento in cui l'operatore doveva operare nello stesso spazio fisico del robot con cui interagisce.

Negli anni '90, gli ambienti virtuali hanno ulteriormente ridotto questa distanza tra operatore e robot, immaginando e realizzando una serie di dispositivi robotici (dette interfacce afferenti) tramite i quali l'operatore risulta in grado di interagire con l'ambiente virtuale e percepirne stimoli fisici. L'uso di questi dispositivi (aptici, tattili, termici) richiede che l'operatore indossi fisicamente una componente (o tutto) il meccanismo, e che le percezioni vengano trasmesse tramite le aree di contatto. Gli ambienti virtuali arricchiscono quindi la capacità di condividere l'ambiente tra sistema robotico e uomo, con la capacità di condividere le esperienze.

Un ulteriore sviluppo di questi sistemi viene dall'intelligenza artificiale, ad oggi infatti, un'ampia serie di sistemi robotici (quali gli ausili tecnologici, i robot reattivi, i *cobots* – ovvero *collaborative robots*), consentono di condividere con l'operatore non solo l'interazione in termini di esperienza, ma anche in termini di intenzione.

A conferma di quanto presentato nell'introduzione, ove si diceva di come le macchine influenzano la nostra vita e il nostro modo di pensare, le categorie attuali di sviluppo della robotica si vanno distaccando dalla «semplice» funzione industriale, nella quale i robot svolgono compiti difficoltosi, ripetitivi, pericolosi per l'uomo, virando verso una componente di integrazione sociale e culturale.

I robot sociali, individuano una nuova applicazione della robotica destinata ad essere nel futuro uno strumento di interazione sociale. Eliminata la barriera della

sicurezza, tramite una serie accurata di norme e di certificazioni, i robot possono entrare a far parte, come già i computer hanno fatto 25 anni fa, della vita sociale. Rispetto ai computer questi ultimi sembrano avere maggiori potenzialità espressive nel fatto che possono integrare le capacità multimodali con movimento e gestualità ai primi negati.

Ad oggi la diffusione, più che lo sviluppo, dei robot sociali è ancora limitata, si va da alcuni esempi commerciali a risultati perlopiù sperimentali. Robot per il gioco (il Sony Aibo, Mitsubishi Wakamaru, i Lego Mindstorm), il cinema (l'animatronica) e l'assistenza agli anziani (domotica, assistive robots), sono tecnologie ormai disponibili anche se ancora poco diffuse presso il grande pubblico.

Di più recente interesse invece sono i robot per l'interazione artistica (si veda più avanti il museo delle Pure Forme), lo sport e la musica, per i quali valgono le considerazioni sulla disponibilità e diffusione fatte poc'anzi.

La funzione operativa, produttiva dei robot non è naturalmente messa in discussione ed individua un enorme settore di ricerca che necessita delle più varie competenze e specializzazioni. Per robot operativi, si intendono tutti quei robot con una specifica applicazione nell'esecuzione di un compito complesso. Questi robot solitamente presentano un elevato grado di autonomia e sono impiegati in condizioni critiche e/o pericolose. Alcuni robot operativi sono impiegati per il trasporto di materiali, il pattugliamento, la simulazione, l'aumentazione della capacità fisico-percettive (*body-extender*), lo sminamento, la coltivazione, veicoli autonomi (aerei, marini, terrestri).

5. Alcuni robot del laboratorio Percro

Il Museo Delle Pure Forme (www.pureform.org) è un sistema in cui un dispositivo robotico viene integrato con un ambiente virtuale. Un museo, composto di sale e statue, esatte copie digitali dei relativi originali, viene materializzato alla vista del visitatore e alla percezione delle sue mani. Una vera e propria esperienza artistica virtuale che, grazie alla possibilità di toccare le opere, offerta dalla tecnologia aptica, si apre a nuove esperienze e nuove utenze come quella dei non vedenti.



Figura 6 - Un'immagine dal museo delle Pure Forme, in primo piano la silhouette dell'utente con la struttura robotica indossata.

Il BodyExtender è un particolare dispositivo robotico antropomorfo indossabile che aumenta le prestazioni di forza dell'uomo. Questa struttura ha una cinematica tale da permettere all'operatore che lo indossa di camminare in avanti e lateralmente, di accosciarsi e di ruotare su se stesso e di raggiungere e muovere carichi in modo naturale, ovvero afferrandoli con organi di presa simili a pinze ma comandati direttamente dalle mani dell'operatore.

Importanti requisiti di progetto sono la trasparenza d'uso (si vuole cioè che l'operatore non sia disturbato nei suoi movimenti dalle azioni della macchina) e la flessibilità d'uso (perseguita garantendo all'operatore di poter effettuare la maggior parte dei movimenti grazie ai gradi di libertà della macchina resi il più possibile simili a quelli delle articolazioni umane ed alla distribuzione delle masse della struttura robotica che rispetta quella dell'uomo).

Il BodyExtender è un sistema a 26 gradi di libertà, costituito da un insieme modulare di attuatori elettromeccanici, che possono essere considerati alla stregua di servomotori che inseguono i movimenti dell'uomo e ne amplificano la forza. Le prestazioni degli attuatori ad elevato rendimento che costituiscono la struttura del BodyExtender consentono di sollevare fino a 200 kg.

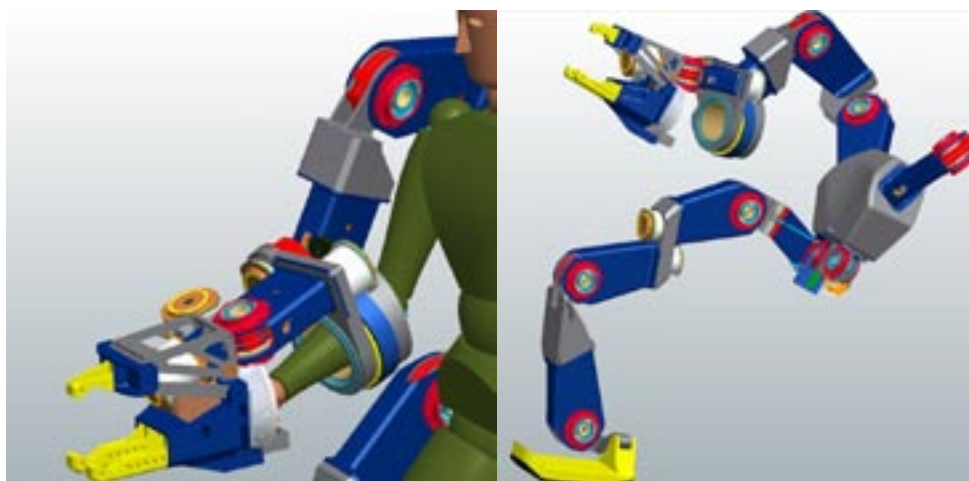


Figura 7 - Vista del BodyExtender (braccio e zampa robotica sinistra sono state nascoste alla vista per chiarezza) Si noti la struttura modulare del braccio e della zampa che utilizzano i medesimi gruppi d'attuazione. Nella figura di sinistra particolare della posizione che l'utente assume quando indossa il BodyExtender.

NOTE

[†] La presente memoria è la trascrizione delle lezioni introduttive al tema della robotica umanoide tenutesi a Cascina (Arezzo) nell'ambito di Pianeta Galileo 2006. Obiettivo del seminario è stato quello di presentare agli studenti alcuni aspetti della sempre più frequente collaborazione e coabitazione di uomini e robot.

¹ Considerevoli esempi (sempre letterari) di sofferta coabitazione fra umanità e macchine intelligenti si trovano nel romanzo di Matt Ruff, «Acqua, luce & GAS – Trilogia dei lavori pubblici», 2000, ed. Fanucci, Roma

² L'affascinante mitologia dei prodigi senzienti, che qui solo accenniamo, esula dagli scopi della presente memoria. Per i primi approfondimenti rimandiamo al volume di Mario Losano, *Storie di Automi*, 1990 Einaudi

³ Il termine deriva probabilmente dalla parola ebraica *gelem* che significa «materia grezza», o «embrione». Esso fa la sua prima apparizione nella Bibbia (Antico Testamento, Salmo 139:16) per indicare la «massa ancora priva di forma», che gli Ebrei accomunano ad Adamo prima che gli fosse infusa l'anima. Secondo la leggenda, chi viene a conoscenza di certe arti magiche può fabbricare un golem, un gigante di argilla forte e ubbidiente, che può essere usato come servo, impiegato per svolgere lavori pesanti e come difensore del popolo ebraico dai suoi persecutori. Può essere evocato pronunciando una combinazione di lettere alfabetiche. Il Golem era dotato di una straordinaria forza e resistenza ed eseguiva alla lettera gli ordini del suo creatore di cui diventava una specie di schiavo, tuttavia era incapace di pensare, di parlare e di provare qualsiasi tipo di emozione perché era privo di un'anima e nessuna magia fatta dall'uomo sarebbe stata in grado di fornirgliela. Si vuole che nel XVI secolo un mago europeo, il rabbino Jehuda Löw ben Bezalel di Praga, cominciò a creare golem per servirsene come servi, plasmandoli nell'argilla e risvegliandoli scrivendo sulla loro fronte la parola «verità» (in ebraico *emet*). C'era però un inconveniente: i golem così creati diventavano sempre più grandi, finché era impossibile servirsene: il mago decideva di tanto in tanto di disfarsi dei golem più grandi, trasformando la parola sulla loro fronte in «morte» (in ebraico *met*); ma un giorno perse il controllo di un gigante, che cominciò a distruggere tutto ciò che incontrava. Ripreso il controllo della situazione, il mago decise di smettere di servirsi dei golem e nascose il demone nella soffitta della Sinagoga Staronova, nel cuore del vecchio quartiere ebraico, dove, secondo la leggenda, si troverebbe ancora oggi.

⁴ Nel 1769, Wolfgang De Kempelen, appassionato di meccanica ma fino ad allora responsabile di attività minerarie, incaricato dall'imperatrice Maria Teresa di Vienna di sviluppare un'attrazione che desse lustro alla corte. In capo a sei mesi realizzò il giocatore di scacchi. A Kempelen si possono ricondurre numerosi contributi in termini della ricerca in robotica compresa la macchina parlante. Famosa è la sua pubblicazione al riguardo: *Mechanismus der menschlichen Sprache nebst Beschreibung einer sprechenden Maschine* (1791).

⁵ La cinematica di questo robot rimane oggi la più usata per robot industriali.