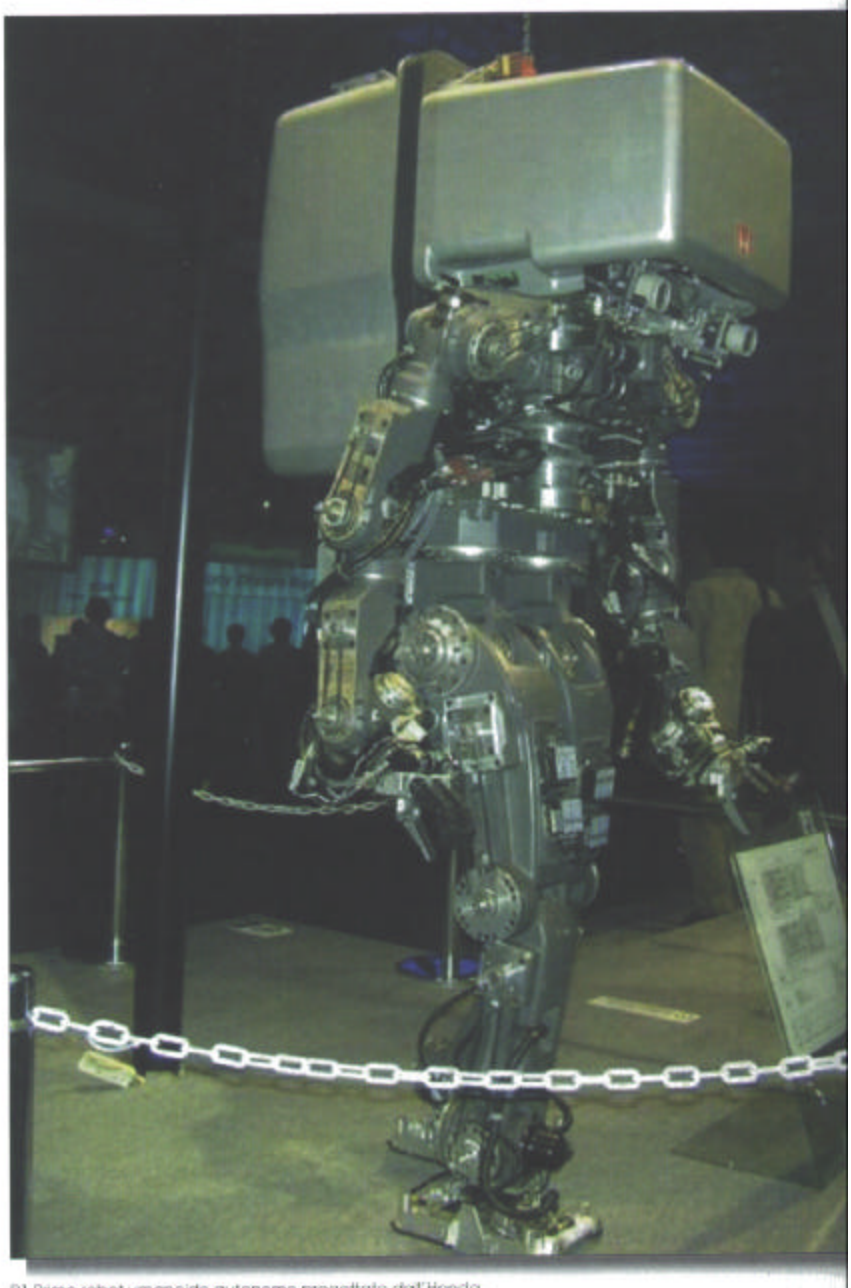
ROBOTICA UMANOIDE

Michele Folgheraiter
Politecnico di Milano

Affinché la robotica si sviluppi anche al di fuori dell'ambito esclusivamente industriale, è necessario progettare dei robot che abbiano morfologia e funzionalità simili a quelle umane

Nell'immaginario collettivo, il robot viene solitamente concepito come una macchina intelligente con sembianze umane, che sia in grado di svolgere i compiti più svariati, come servire la colazione, sbrigare le faccende domestiche, riparare un'automobile, insomma aiutare l'uomo in tutte le attività considerate noiose e ripetitive. Quest'immagine proviene principalmente dalla fantascienza, ne è un classico esempio il film *Guerre Stellari*, nel quale il robot androide poliglotta C3PO e la sua unità mobile R2D2 affrontano mille peripezie nel tentativo di assistere e servire al meglio il loro padrone. Nei racconti dello scrittore Isaac Asimov, i robot vengono descritti come macchine dotate di una propria coscienza e personalità, quasi come se si volesse metterli sullo stesso piano degli esseri umani.

Purtroppo, oggi siamo ancora lontani dal poter avere un robot maggiordomo che ci rassetti la casa e lavori al nostro posto, tuttavia molti scienziati e ingegneri sono del parere che la robotica umanoide sarà uno dei settori tecnologici e scientifici di maggiore sviluppo del ventunesimo secolo.



P1 Primo robot umanoide autonomo progettato dall'Honda.

Si potrebbe pensare alla robotica umanoide come ad una scienza applicata molto recente, in realtà, sebbene il suo nome sia nuovo, essa ha radici in studi che risalgono al secondo secolo a.C., quando Erone d'Alessandria, progettando sistemi automatici, movimentati grazie a meccanismi idraulici e pneumatici, fondava le basi della meccanica e dell'automatica. Lo stesso Leonardo Da Vinci, ispirato da testi greci, progettò nel 1495 un cavaliere meccanico in grado di muovere braccia e testa, che può essere considerato uno dei primi robot umanoidi della civiltà occidentale.

Lo scorso millennio, grazie alla genialità e all'inventiva di molti scienziati e ingegneri e grazie anche al progredire scientifico e tecnologico, ha visto un continuo susseguirsi di tentativi di replicare, attraverso macchine automatiche, le abilità umane.

Solo negli ultimi cinquanta anni, tuttavia, l'uomo ha iniziato a progettare dei robot in grado di effettuare compiti non elementari.

Stato dell'arte

Il primo robot umanoide moderno è stato costruito nel 1973 al dipartimento di scienza ed ingegneria della Waseda University (Tokyo), il suo nome è WABOT-1 (**Figura 1**). Questo robot era in grado di camminare, comunicare in modo naturale con una persona, vedere e manipolare oggetti grazie alle sue due mani artificiali antropomorfe.

WABOT-1 è solamente il primo di una lunga serie di prototipi costruiti nei rinomati laboratori della Waseda University; tra questi troviamo anche WABIAN (**Figura 2**), robot umanoide di ultima generazione equipaggiato con un sistema di controllo in grado di replicare la camminata umana.

Questo robot è alto 1,88 m, pesa ben 130 kg e utilizza un sofisticato sistema di bilanciamento che, coordinando in modo opportuno il movimento delle gambe e del busto, è in grado di mantenerlo in equilibrio.

Nella stessa direzione sta andando anche il team di Rodney A. Brooks, dell'Artificial Intelligent Laboratory MIT (Boston), dove nel 1993 è partito il progetto Cog. Questo progetto ha essenzialmente due scopi: uno di tipo ingegneristico, che è di costruire un robot *general purpose*, e uno di tipo scientifico, comprendere meglio i meccanismi della percezione umana.

Cog è un robot umanoide (**Figura 3**) a 21 gradi di libertà, che gli permettono di replicare, in modo apprezzabile, i movimenti della parte superiore del corpo umano. Ogni giunto è controllato da un sistema hardware dedicato, che a sua volta riceve i comandi da un sistema di controllo di più alto livello. Quest'ultimo ha lo scopo di coordinare i movimenti di tutti i giunti al fine di ottenere manipolazioni complesse.

Rilevante è la presenza di numerosi apparati sensoriali, che permettono al robot di avere una percezione di se stesso e dell'ambiente che lo circonda. Il robot è in grado, grazie ad un sistema vestibolare artificiale, di orientare lo sguardo verso eventuali fonti di stimolazione esterne come suoni, oggetti in movimento, contatti fisici ecc.

Il *cervello* del robot è contenuto in un network di calcolatori che, in tempo reale, riescono a elaborare le informazioni provenienti dai sensori e a controllare quindi la postura e la reattività dell'umanoide.

Anche la NASA è interessata allo sviluppo di robot umanoidi, con lo scopo di assistere gli astronauti nelle loro attività extraveicolari (EVA) sulla nuova stazione spaziale orbitante o da utilizzare nelle esplorazioni interplanetarie. Allo Johnson Space Center da anni scienziati ed ingegneri, con altissime competenze, stanno lavorando a Robonaut (**Figura 4**), un robot con oltre 50 gradi di libertà equipaggiato da due braccia e mani antropomorfe. Il robot non presenta arti inferiori poiché in assenza di gravità non avrebbero alcuna utilità. In effetti, per aumentare il suo spazio di lavoro, il robot può essere collegato ad un manipolatore che avrà poi il compito di portarlo nella zona di interesse.

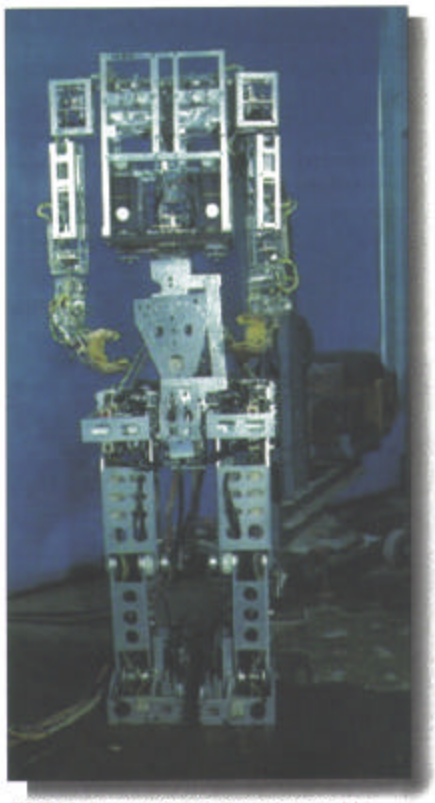


FIGURA 1 Primo prototipo di robot umanoide sperimentale costruito nei laboratori della Waseda University, Tokyo 1973.

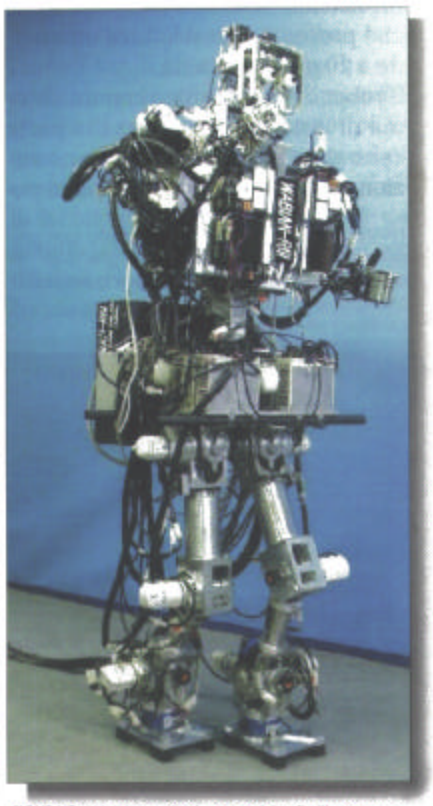


FIGURA 2 Wabian, robot umanoide di ultima generazione, questo robot è in grado di camminare imitando la postura umana (Waseda University, Tokyo).

Robonaut, grazie alle sue due mani a cinque dita, è in grado afferrare ed utilizzare qualsiasi attrezzo in dotazione agli astronauti
Il robot può essere telemanipolato grazie ad un sofisticato sistema di realtà virtuale immersiva, che permette all'operatore di controllare in modo naturale, attraverso il movimento della sua mano, l'arto artificiale e allo stesso tempo di avere un feedback visivo della scena.
Un bellissimo esempio di robot umanoide è DB (**Figura 5**), nato dalla collaborazione tra la Japan Science and Technology Corporation e la Sarcos Company.
DB ha una morfologia molto simile a quella umana, le articolazioni sono mosse da un sistema di 30 attuatori idraulici che riescono a riprodurre la cinematica del corpo umano.
Il robot riesce ad apprendere i movimenti più elementari osservandone l'esecuzione degli stessi da parte di un operatore umano.
Il team che lavora a questo robot sta inoltre studiando da anni il funzionamento del cervello umano nel tentativo di capire i meccanismi dell'apprendimento.

Robotica umanoide e entertainment

Oltre al mondo accademico vi sono anche alcune compagnie interessate alla robotica umanoide, con tutta probabilità soltanto per una questione di immagine, giacché un possibile ritorno economico, per questo tipo di ricerche, è immaginabile solo entro i vent'anni.
Notevoli sono le ricerche condotte dalla Honda, le quali hanno portato alla realizzazione di diversi prototipi. P3 (**Figura 3**) è un robot a 28 gradi di libertà, capace di: camminare con una velocità massima di 2 km/h, salire le scale e afferrare semplici oggetti. Il robot può funzionare autonomamente o essere teleoperato.
Anche la Sony ha reso noto il suo progetto di robot umanoide nel 2000, in realtà l'SDR-3x è un robot pensato per l'intrattenimento, anche se attualmente come giocattolo ha un costo proibitivo. Pesa 5 kg e presenta 24 gradi di libertà, è equipaggiato da due microprocessori a 64 bit, uno dei quali è utilizzato per controllare i movimenti e l'altro per analizzare i sensori e le funzioni cognitive.
Questo interesse da parte delle grosse compagnie è ad ogni modo un elemento positivo, perché crea nuove aspettative nel pubblico, che in definitiva forniscono la spinta necessaria per l'applicazione delle nuove tecnologie.

Progetti di robotica umanoide italiani

Se questo è quello che succede nei più grossi centri di ricerca esteri, anche l'Italia non è da meno. Nell'ultimo congresso mondiale di robotica umanoide tenutosi a Tokyo lo scorso anno vi è stata una rilevante partecipazione di scienziati italiani, a dimostrazione del fatto che vi è un forte interesse in questo settore della robotica anche nel nostro Paese.
All'università di Genova l'equipe del Professor Sandini ha messo a punto un sistema chiamato Babybot, robot che presenta una struttura umanoide a 20 gradi di libertà.
Il robot è equipaggiato con un sistema di visione che analizza la parte centrale della scena con una risoluzione maggiore rispetto alla parte periferica, imitando quindi parzialmente il funzionamento dell'occhio umano; le informazioni visive sono poi integrate sia con quelle acustiche che con quelle di posizione e velocità provenienti da tre giroscopi. Il sistema è in grado così di emulare l'apparato vestibolare umano e di coordinare i movimenti del braccio con quelli della testa e delle telecamere.
Interessante è il sistema di apprendimento: inizialmente i movimenti generati sono grezzi e scoordinati poi,

FIGURA 3 Cog, robot equipaggiato con un sistema vestibolare artificiale in grado di coordinare il sistema di visione e quello di manipolazione:
(Artificial Intelligent Lab MIT, Boston).

FIGURA 4 Robonaut, robot teleoperato della NASA capace di assistere gli astronauti durante le attività extraveicolari.

man mano che il robot apprende dagli stimoli sensoriali, essi diventano via via più efficienti e precisi.
Alla Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa è stato invece sviluppato un robot mobile su ruote, equipaggiato con un braccio e una mano antropomorfa (**Figura 7**).
Il sistema di controllo è basato su una rete neurale che, opportunamente istruita, fornisce ad un sottosistema, basato sulla logica fuzzy, la base della conoscenza.

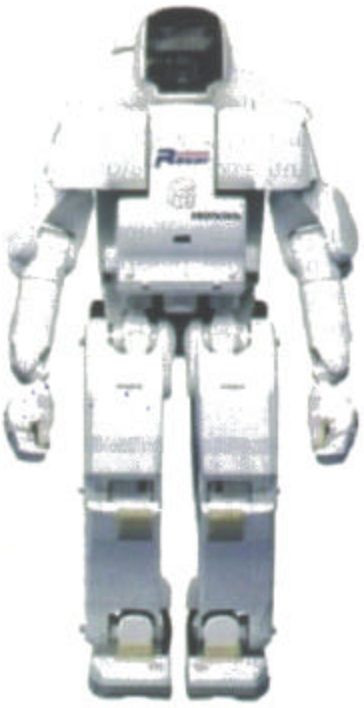


FIGURA 6 P3 rappresenta lo stato dell'arte per quanto riguarda la robotica umanoide applicata, costruito nei laboratori della società giapponese Honda.

Sarà poi il controllore fuzzy, una volta analizzati i dati sensoriali, a fornire i comandi opportuni ai vari attuatori del robot.
Da un paio di anni anche il nostro gruppo di ricerca in Intelligenza Artificiale e Robotica (DEI, Politecnico di Milano) ha iniziato ad occuparsi di robotica umanoide. Attualmente si sta sviluppando un arto artificiale superiore con finalità applicative in campo robotico e cibernetico.
Il progetto Blackfingers è partito con uno studio approfondito dell'arto umano, sia dal punto di vista fisiologico, sia dal punto di vista anatomico e funzionale. Questo si è rivelato un momento decisivo in quanto è stato proprio da questi studi che sono stati ricavati importanti spunti per la progettazione del sistema artificiale.
Durante tutta la fase di progettazione si è cercato, per quanto possibile, di rispettare le specifiche dettate dall'anatomia, cercando di convertire i meccanismi biologici in meccanismi artificiali.
La progettazione di un arto artificiale, con caratteristiche morfologiche e funzionali simili all'arto umano, ha essenzialmente due scopi: il primo è quello di arrivare ad un prototipo in grado di essere integrato su un robot umanoide, il secondo invece è quello di configurare l'arto in modo tale da poterlo poi utilizzare come protesi per disabili. Naturalmente, in questo secondo caso, il sistema deve essere opportunamente integrato con un'interfaccia che sia in grado di convertire i segnali mioelettrici e gli impulsi nervosi, provenienti dal sistema nervoso periferico del disabile, in opportuni segnali di controllo per la protesi.
Il primo prototipo realizzato (**Figura 8**) presenta cinque dita a tre gradi di libertà ciascuno, questi permettono ad ogni dito artificiale di replicare in modo naturale tutti i movimenti di quello umano.
La struttura ossea è stata replicata mediante un particolare materiale, il nyloil, che presenta caratteristiche meccaniche paragonabili a quelle dell'osso umano.
I legamenti sono stati replicati mediante bande di gomma, mentre i tendini, che permettono di trasmettere forze e movimenti dei muscoli siti nell'avambraccio fino alle articolazioni delle falangi, sono stati ricreati mediante cavetti di acciaio contenuti in guaine siliconiche.
Il prototipo è equipaggiato con sensori di forza che permettono di rilevare la tensione generata nei tendini artificiali, sensori di posizione (**Figura 9**), in grado di misurare la posizione di ogni falange e sensori di tatto che permettono di rilevare l'eventuale contatto tra un oggetto e la punta del dito.
Per quanto riguarda il sistema di controllo di basso livello, adibito a controllare la posizione di ogni giunto e il momento ad esso applicato, si è deciso di replicare, mediante l'utilizzo di particolari neuroni dinamici artificiali, i riflessi miotatici presenti nell'essere umano.
Questi riflessi artificiali, oltre ad esplicare il controllo in forza e posizione del giunto, permettono anche, proprio come accade per i riflessi umani, di svolgere una funzione di protezione nei confronti delle strutture meccaniche della mano artificiale.
Qualora, infatti, le forze applicate sui tendini dovessero superare dei valori critici, il riflesso interviene diminuendo le forze generate dagli attuatori.
Notevoli sono stati i problemi riscontrati a livello tecnologico: in effetti, ogni dito artificiale è movimentato da sei attuatori, quindi in totale sono necessari

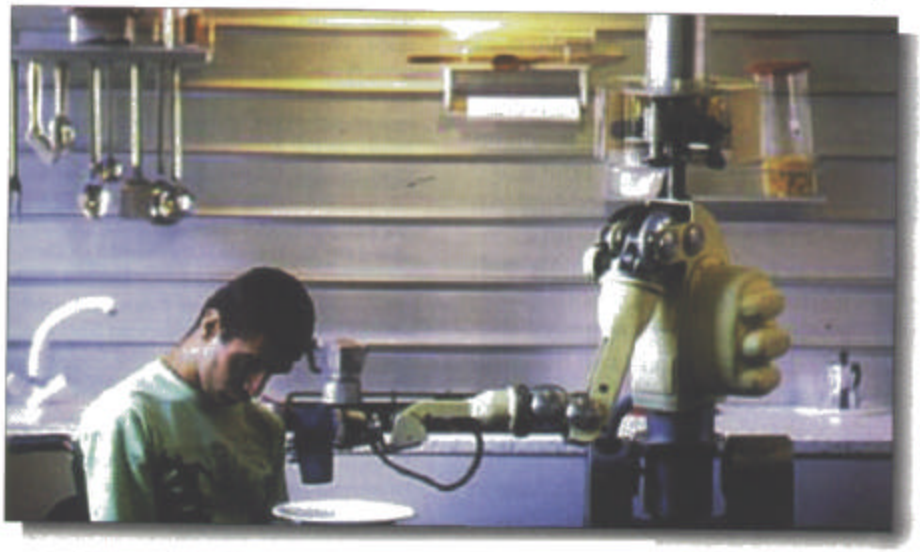


FIGURA 8 Blackfingers, prototipo di mano artificiale antropomorfa costruita nel laboratorio di robotica ed intelligenza artificiale (Politecnico di Milano, DEI).

FIGURA 9 Esempio di flessione completa dell'indice (Blackfingers).

ben 30 attuatori che devono essere tutti collocati all'interno dell'avambraccio. Per questo motivo si è deciso, nella seconda versione del prototipo, di sviluppare un nuovo tipo di attuatore pneumatico che si avvicina maggiormente al funzionamento del muscolo umano. L'attuatore in questione è una versione modificata del muscolo artificiale di McKibben che incorpora all'interno un sensore di forza e un sensore di posizione. Questa soluzione ha permesso di liberare i giunti dai sensori e quindi di diminuire il numero di cavi elettrici presenti sulle falangi che, a causa dei movimenti, sono soggetti a continui logorii.

In futuro l'arto artificiale sarà dotato di un sistema di controllo di alto livello in grado di gestire e coordinare i movimenti di ogni falange, al fine di realizzare prese complesse.

Conclusioni

Rimane ancora senza risposta la questione di quali vantaggi potrebbe portare all'umanità la robotica umanoide. È facile prevedere che quando la tecnologia sarà matura le applicazioni dei robot umanoidi saranno molteplici e svariate.

Fino ad ora la robotica applicata ha portato a progettare dei manipolatori che non hanno affatto sembianze umane, e che solitamente operano in ambienti prestrutturati come le fabbriche.

Se si vuole, però, che questa disciplina faccia un ulteriore passo in avanti e che quindi possa essere applicata non solo in ambito industriale, è necessario progettare dei robot con morfologia e funzionalità più simili a quelle umane.

È sempre stato uno dei sogni dell'uomo quello di costruire esseri artificiali a sua immagine e somiglianza, magari da utilizzare come valido aiuto per i disabili, per gli anziani, per costruire basi spaziali, per esplorare l'universo. Nel corso della storia gli esseri umani hanno sempre cercato di adattare e modificare l'ambiente circostante in base alle proprie esigenze e un eventuale robot concepito per aiutarci nella vita di tutti i giorni dovrebbe preferibilmente avere fattezze umane.

Vi sono tuttavia altri fattori determinanti per l'applicazione di questo tipo di tecnologie, e uno di questi è il fattore umano.

Le persone saranno disposte a vivere in stretto contatto con dei robot? Riusciranno a cooperare con delle macchine? In realtà, se pensiamo al nostro quotidiano, ci accorgiamo che sempre più stiamo demandando a dei sistemi automatici la nostra sicurezza. Ne è un esempio il settore automobilistico, dove oramai quasi tutte le vetture sono equipaggiate con sistemi elettronici di frenata che regolano la decelerazione non solo in base al comando umano, ma anche in funzione di parametri e variabili dipendenti esclusivamente dallo stato della macchina stessa.

Molte persone, d'altro canto, sono un po' restie nei confronti della robotica, ritenendola una minaccia per l'occupazione e per l'umanità in generale. I robot non devono essere visti come dei rivali, ma piuttosto come dei validi aiutanti e collaboratori, insomma come delle macchine sofisticate in grado di risparmiare all'uomo tutte le attività pericolose, pesanti e ripetitive. Forse un giorno, in un futuro lontano, potrebbero essere proprio i robot a portare avanti l'opera che l'uomo iniziò due milioni d'anni fa.

BIBLIOGRAFIA

[1] Brooks R: **Behavior-Based Humanoid Robotics**, *Proc. IEEE/RSJ IROS'96*, Osaka, Japan, 1996, November 4-8.

[2] Folgheraiter M, Gini G: **Blackfingers an artificial hand that copies human hand in structure, size, and function**, *Proc. IEEE Humanoids 2000*, MIT, Cambridge, Mass, September 2000.

[3] Folgheraiter M, Gini G: **Human like hierarchical reflex control for an artificial hand**, *Proc. IEEE Humanoids 2001*, Waseda University, Tokyo, Japan, November 2001.

[4] Hundrok L et al.: **Biped walking using stabilization and compliance control**, *Proc. IEEE Humanoids 2000*, MIT, Cambridge, Mass, September 2000.

[5] Metta G, Babybot: *a Study on Sensori-motor Development*. Unpublished Ph.D. Thesis, Università di Genova (2000), Genova.

[6] Bischoff R: ***Design Concept and Realization of the Humanoid Service Robot HERMES***, Field and Service Robotics, Springer, London, 1998, pp. 485-492.

[7] Kazuo H et al.: **The Development of Honda Humanoid Robot**, *Proc. IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Belgium, 1998.