

# **STATO DELL'ARTE SULLA ROBOTICA UMANOIDE**

Progetto di Robotica

Autori:

Redaelli Francesco

Sandionigi Chiara

Data:

26/8/2005

# Indice

Introduzione.....	3
Motivazioni.....	3
Storia.....	4
Progetti e prototipi analizzati.....	4
Wabot-1.....	5
WL.....	5
WAM.....	8
MIA.....	10
Wabot-2.....	11
Wabian.....	13
Wabian-2/LL (Lower Limb).....	14
Cog e Kismet.....	16
Isac.....	19
Asimo.....	20
H6.....	22
H7.....	23
Isamu.....	24
Robonaut.....	25
Greenman.....	26
DB.....	26
Manny.....	29
Hermes.....	30
Hadaly-2.....	31
Wendy.....	31
Saika.....	32
Conclusioni e sviluppi futuri.....	33

## Introduzione

La robotica umanoide è la branca della biorobotica che ha l'obiettivo principale di riprodurre alcune caratteristiche morfologiche e funzionali del corpo umano in un sistema artificiale il più fedelmente possibile. Essendo una branca della biorobotica, la robotica umanoide fa parte della robotica di servizio.

## Motivazioni

Ci sono vari motivi per cui si cerca di creare robot che assomigliano agli esseri umani e si comportano come tali.

Un principale motivo è la costruzione di robot che non siano in grado di nuocere agli esseri umani. Questo avviene tramite un controllo di rigidità e permette di superare la necessità delle gabbie di sicurezza che generalmente circondano lo spazio di lavoro dei manipolatori. Tuttavia si tratta di un problema ancora aperto nonostante lo sviluppo della robotica umanoide. Infatti, come si analizzerà in seguito, generalmente i robot umanoidi sviluppati fino a ora sono molto pesanti e a causa di ciò esiste il pericolo che essi possano distruggere l'ambiente circostante e soprattutto recare danno agli operatori.

Un altro dei motivi principali della robotica umanoide è la costruzione di robot in grado di sostituire gli esseri umani in vari campi. Rappresentano un esempio di questa applicazione i robot controllati a distanza per le passeggiate spaziali all'esterno della stazione spaziale internazionale. Oltre alla capacità di sostituire gli umani nei lavori, l'obiettivo della robotica umanoide è la cooperazione e l'interazione naturale con essi. Infatti si tende a costruire robot in grado di operare in ambienti e con oggetti che sono stati progettati e costruiti in base alla conformazione fisica e alle esigenze dell'essere umano.

Un altro motivo dello sviluppo della robotica umanoide è lo studio del comportamento umano a diversi livelli. Infatti si pensa che l'impiego di robot umanoidi rappresenti un primo passo verso la completa comprensione delle funzioni di alto livello del cervello attraverso l'analisi matematica. Altri possibili campi di ricerca sono la locomozione dei bipedi e la coordinazione tra sistema visivo e sistema motorio.

Infine una delle motivazioni della robotica umanoide è anche l'intrattenimento.

# Storia

Da migliaia di anni si è sviluppato un interesse nella costruzione di "robot" con sembianze umane. Settemila anni fa sia in Europa che in Cina erano presenti figure di umani realizzate in argilla cotta. Tremila anni fa, all'apice della civiltà egiziana, statue articolate potevano essere controllate da operatori nascosti. A Tebe il nuovo re era scelto da una statua articolata di Ammone controllata segretamente dai sacerdoti. Nel sedicesimo secolo Leonardo Da Vinci, il principale studente di anatomia umana del suo tempo, progettò un equivalente meccanico di un essere umano. Purtroppo questo progetto non è ancora stato realizzato. Nel diciottesimo secolo il francese Jacques de Vaucanson costruì tre meccanismi umanoidi: un suonatore di mandolino che cantava e batteva il piede mentre suonava, un suonatore di piano che simulava la respirazione e muoveva la testa e infine un suonatore di flauto. Tutti erano semplici meccanismi di riproduzione costruiti per essere molto realistici e nessuno era in grado di percepire l'ambiente. Presto seguirono umanoidi simili. Nel diciottesimo secolo l'orologiaio svizzero Pierre Jaquet-Droz e suo figlio Henri-Louis costruirono un certo numero di umanoidi, tra cui una suonatrice di organo che simulava la respirazione e la direzione dello sguardo fisso verso il pubblico, le sue mani e lo strumento. Nel 1815 l'orologiaio svizzero Henri Maillardet costruì un "robot" con le sembianze di un ragazzo e in grado di scrivere testi sia in inglese che in francese e disegnare una varietà di paesaggi.

L'era moderna della robotica umanoide iniziò nel 1973 grazie a Hirokazu Kato, un professore dell'università di Waseda (Tokyo). Egli diresse la costruzione di Wabot-1, il primo dei robot umanoidi analizzati in questo stato dell'arte. Dal 1990 sono stati avviati molti progetti di robot umanoidi, soprattutto in Giappone, Germania e Stati Uniti. Attualmente più di cento ricercatori lavorano alla robotica umanoide solo all'università di Waseda e un simile numero presso la Honda Corp. giusto fuori Tokyo. Ci sono anche grandi progetti di umanoidi presso l'università di Tokyo, l'ATR (Advanced Telecommunications Research) a Kyoto e altre località giapponesi. L'università di Bundeswehr e l'università tecnica di Monaco (Germania) hanno ospitato progetti di robot umanoidi. I più grandi progetti negli Stati Uniti sono stati sviluppati presso l'università dello Utah, l'università di Vanderbilt, la NASA e il MIT.

## Progetti e prototipi analizzati

In questo documento sono stati analizzati vari progetti e prototipi riguardanti robot umanoidi completi e implementazioni di sottoparti di robot umanoidi.

Si è scelto di iniziare dall'analisi di Wabot-1, in quanto è il primo robot umanoide moderno costruito, e proseguire con l'analisi di una serie di robot umanoidi e semi-umanoidi.

# Wabot-1

Wabot-1 è il primo prototipo di robot umanoide moderno. E' stato costruito sotto la supervisione di Hirokazu Kato al dipartimento di scienza e ingegneria dell'università di Waseda (Tokyo) nel 1973.

Questo robot in grado di muovere piccoli passi grazie a due gambe, afferrare semplici oggetti con due mani ed eseguire qualche interazione di discorso basilare con le persone. E' infatti costituito da un sistema di controllo della camminata, un sistema di visione e un sistema vocale. Cammina con un'andatura lenta e si muove nell'ambiente grazie alla capacità di valutare direzioni e distanze dagli oggetti usando sensori esterni, in particolare occhi artificiali. Afferra e trasporta oggetti utilizzando mani dotate di sensori tattili. Comunica con le persone in giapponese utilizzando bocca e orecchie artificiali.

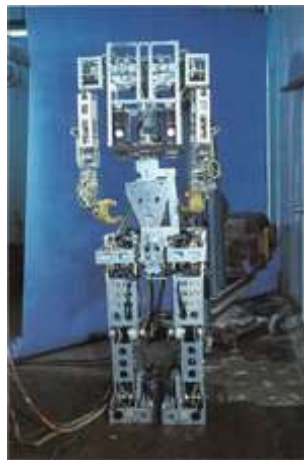


Figura 1: Wabot-1

Wabot-1 è costituito da WL-5 e WAM-4, analizzati nei paragrafi successivi.

Il problema della costruzione di un robot umanoide è molto complesso. Infatti analizzando il corpo umano dal punto di vista della complessità cinematica, si ottengono circa 92 gradi di libertà. Per questo motivo spesso si preferisce suddividere il problema in sottoproblemi e concentrarsi sull'implementazione di sottoparti di robot umanoidi.

## WL

WL-5 è un meccanismo a undici gradi di libertà costituito da gambe e tronco artificiali e usato come parte inferiore di Wabot-1. Fu costruito nel 1971.

WL-5 è in grado di piegarsi lateralmente, spostando così il suo centro di gravità su un piano frontale, e può cambiare direzione usando un programma di controllo. La camminata automatica del bipede e la possibilità di cambiare direzione durante la camminata sono resi possibili attraverso l'uso di un minicomputer.

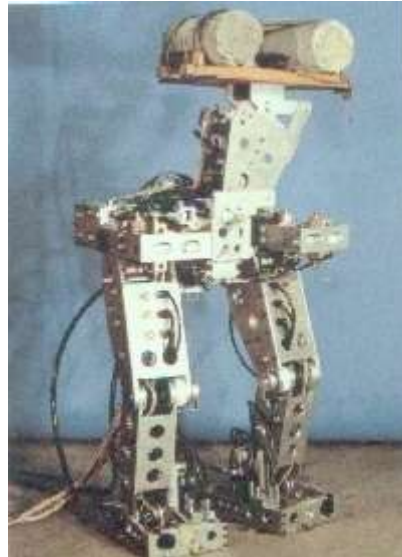


Figura 2: WL-5

### Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	5 per ciascuna gamba e 1 per il tronco
Velocità	45 secondi/passò

Tabella 1: Caratteristiche tecniche di WL-5

Precedentemente a WL-5 furono costruiti WL-1 e WL-3.

Il meccanismo artificiale WL-1 fu costruito nel 1966 sulla base dell'analisi della locomozione dei membri inferiori. Il risultato fu la creazione delle funzioni fondamentali della locomozione di un bipede.

Il modello meccanico WL-3 fu costruito nel 1968. Ha un servo-attuatore elettro-idraulico ed è controllato usando il metodo master-slave. Gestisce un movimento simile a quello umano suddividendolo in una fase di oscillazione e in una fase di posizionamento. E' in grado di stare in piedi e sedersi.

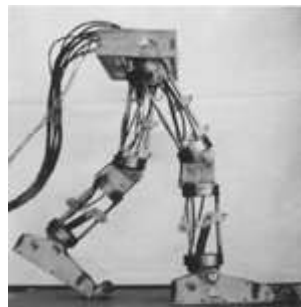


Figura 3: WL-3

Successivamente a WL-5 furono costruiti altri modelli meccanici, tra cui WL-9DR, WL-10R e WL-10RD.

Il meccanismo artificiale WL-9DR fu costruito nel 1979. Si tratta del primo modello in grado di realizzare una camminata quasi dinamica. La sua velocità è 10 secondi/passi. WL-9DR abilita un controllo versatile usando come controllore un microcomputer a 16 bit invece di un minicomputer. Il numero di punti attraverso cui WL-9DR tocca il pavimento con la pianta del piede fu incrementato da tre a quattro. Questo consentì di arrivare alla soluzione matematica di un particolare modello di camminata molto più facilmente raggiungibile.



Figura 4: WL-9DR

Il modello WL-10R, un tipo perfezionato del WL-10, fu costruito nel 1982. Nelle sue parti strutturali fu introdotto il servo-attuatore di tipo rotante RSA e fu usata plastica rafforzata con fibra di carbone CFRP. Fu aggiunto un grado di libertà in più su un asse del giunto dell'anca. Di conseguenza WL-10R acquisì la funzione di camminare lateralmente e la funzione di girarsi e camminare sia avanti che indietro. Quest'ultima funzione fu chiamata camminata piana. La velocità di WL-10R è 4.4 secondi/passi.



Figura 5: WL-10R

Il modello WL-10RD, un perfezionamento di WL-10R, fu costruito nel 1984. In WL-10RD furono attaccati sensori di forza sulla caviglia e sul giunto dell'anca per permettere un controllo flessibile della fase di transizione dalla posizione su una gamba alla posizione sull'altra gamba usando il feedback della coppia di torsione. Di conseguenza fu realizzata per la prima volta una camminata dinamica completa. La velocità di WL-10RD è 1.3 secondi/passi.



Figura 6: WL-10RD

## WAM

Lo studio di braccia e mani artificiali iniziò nel 1967. Questo studio ha come obiettivo lo sviluppo di macchine in grado di eseguire lavori manuali al posto delle persone e dà risalto allo sviluppo dei meccanismi delle mani artificiali.

Nel 1967 presso l'università di Waseda furono sviluppate le prime braccia e mani artificiali: WAM-1. Questo sistema è caratterizzato da sette gradi di libertà (tre nel braccio e quattro nella mano) e utilizza muscoli artificiali di tipo Waseda fatti di gomma. Nel 1969 fu costruito WAM-2, che è controllato da un computer ed è caratterizzato da cinque gradi di libertà nel braccio attuati elettricamente. Nel 1970 fu sviluppato un perfezionamento di WAM-2: WAM-3. WAM-2 e WAM-3 possono afferrare e trasportare oggetti grazie a sensori di posizione e di pressione posizionati sulle dita.



Figura 7: WAM-1 (a sinistra) e WAM-2 (a destra)

Nel 1972 fu realizzato WAM-4 basandosi sui modelli precedentemente sviluppati (WAM-1, WAM-2 e WAM-3). WAM-4 ha sei gradi di libertà nel braccio e un grado di libertà nella mano. La mano destra e la mano sinistra sono entrambe sviluppate come membri superiori del robot intelligente Wabot-1. WAM-4 rileva gli oggetti usando un sensore visivo e sensori tattili attaccati alle dita. Afferrare, trasporta e sposta gli oggetti da una mano all'altra usando un controllo bilaterale simmetrico.





Figura 8: WAM-4

Nel 1973 iniziarono gli studi su un braccio artificiale antropomorfo con un grado di libertà ridondante come un braccio umano. Nel 1974 fu proposto il concetto di controllo adattabile a vincoli esterni. Questo concetto fu applicato a WAM-6 nel 1980. Lo sviluppo di WAM-6 ebbe inizio nel 1975 e fu completato nel 1979. WAM-6 ha sette gradi di libertà nel braccio e due gradi di libertà nella mano. Con WAM-6 furono introdotti gli RSA (Rotary Servo Actuator), che sono servo-attuatori elettro-idraulici, e sono state controllate le risposte della coppia di torsione tramite strain gauge attaccati a ogni giunto. WAM-6 può eseguire compiti complessi come aprire una porta e dipingere una superficie curva.

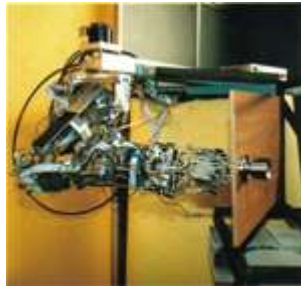


Figura 9: WAM-6

L'operazione di sviluppo di un robot in grado di muoversi velocemente e agire in modo intelligente iniziò con la sfida di costruire un robot capace di suonare uno strumento a tastiera. Nel 1982 fu realizzato il compito di colpire un tasto dieci volte al secondo tramite dita artificiali a cui era trasmessa la forza attraverso cavi. Nel 1983 fu sviluppato WAM-7, che ha sette gradi di libertà nel braccio e quattordici gradi di libertà nelle dita e può suonare semplici brani.



Figura 10: WAM-7

Nel 1984 furono sviluppati WAM-7R (il braccio sinistro), WAM-8 (il braccio destro) e WAM-8L (le gambe). Questo sistema ha cinquanta gradi di libertà in totale e suona uno strumento elettronico colpendo i tasti quindici volte al secondo. Ha la capacità di eseguire brani di medio livello. L'algoritmo software è basato su un software di intelligenza artificiale che permette di leggere uno spartito musicale e determinare il movimento di dita e braccia in cooperazione.

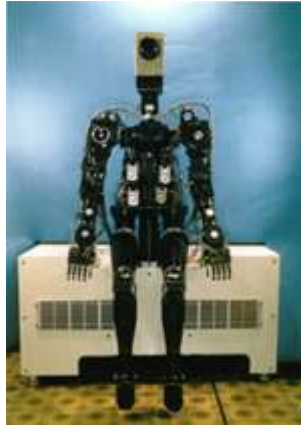


Figura 11: WAM-7R, WAM-8 e WAM-8L

La maggior parte dei robot industriali sono device controllati in posizione che si spostano esattamente dove comandato. Generalmente le braccia di questi robot sono molto pesanti e possono sollevare carichi elevati. Per macchine pensate per interagire con le persone, le braccia mosse con particolare forza rappresentano un certo pericolo. Nella progettazione degli umanoidi è cruciale sviluppare braccia che controllino le forze che interagiscono tra il robot e le molte altre parti dell'ambiente con cui ogni braccio può entrare in contatto. Idealmente le braccia degli umanoidi dovrebbero essere manipolatori leggeri in grado di fornire forza durante l'esecuzione di un movimento di cedevolezza. Ad esempio, se un robot sta per prendere un oggetto e un essere umano si introduce sul percorso, si dovrebbe attenuare di conseguenza la forza esercitata dal braccio. Nella ricerca di sviluppo di un braccio forte e cedevole nello stesso tempo, l'università di Waseda ha realizzato MIA.

## MIA

MIA è un manipolatore antropomorfo a sette gradi di libertà. Comprende spalla, gomito e polso. L'acronimo sta per Mechanical Impedance Adjuster.

Invece di utilizzare un approccio attivo (guidato da motori) alla cedevolezza, dove le prestazioni sono limitate dai servomotori, è stato sfruttato un metodo di controllo della cedevolezza passivo. MIA è costituito da un elemento di cedevolezza e da un sistema di freno elettromagnetico come pseudo ammortizzatore interno. Questo meccanismo permette al robot di realizzare un'ideale impedenza del giunto tramite il controllo di un fattore di cedevolezza e di un fattore di ammortizzamento. Il risultato è un robot controllato in forza e in grado di cooperare con gli esseri umani in modo sicuro durante l'esecuzione di compiti di manipolazione avanzati. MIA è in grado di realizzare una cedevolezza altamente meccanica che è abbastanza efficace per l'assorbimento e l'inseguimento delle forze esterne applicate dall'ambiente e dagli esseri umani. E' possibile vedere una fotografia del braccio artificiale MIA nella figura seguente.

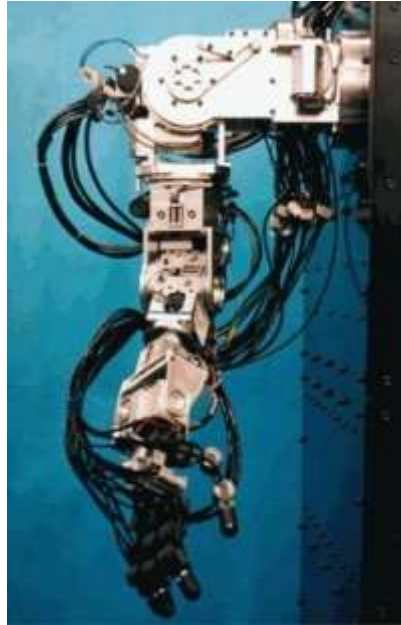


Figura 12: MIA

Il braccio artificiale MIA è stato utilizzato nel robot umanoide Wendy, analizzato in seguito.

Si torna ora alla trattazione di robot umanoidi completi.

Come i primi umanoidi, Wabot-1 è ancora essenzialmente un meccanismo di riproduzione. In particolare il suo scopo è la riproduzione della camminata umana. Wabot-2, il successivo robot di Kato costruito nel 1984, è molto più di un meccanismo di riproduzione. La concentrazione si è spostata sullo studio degli arti superiori e della visione per la costruzione di un robot in grado di suonare uno strumento a tastiera.

## Wabot-2

Suonare uno strumento a tastiera è considerato un'attività artistica che richiede intelligenza e destrezza tipiche dell'uomo. Wabot-2 è un robot umanoide che ha come obiettivo lo svolgimento di questa attività, quindi viene considerato un "robot specialista" piuttosto che un robot versatile come Wabot-1.

Come Wabot-1, ha due gambe e due braccia. A differenza di Wabot-1, non può stare in piedi ma è seduto sulla panca di un piano. I suoi piedi sono usati per premere i pedali di un organo e le sue braccia e mani sono limitate al suono della tastiera dell'organo. Ha cinque dita su ciascuna mano e può muovere le braccia da un lato all'altro della tastiera. La sua testa è una grande telecamera. Quando lo spartito è posizionato sul sostegno sopra la tastiera, Wabot-2 può leggere la musica e suonare il pezzo. Inoltre è in grado di conversare con una persona e svolgere il compito di accompagnamento musicale ascoltando il canto di una persona.

In un certo senso anche Wabot-2 è un meccanismo di riproduzione, ma riproduce una notazione musicale standard percependo questa notazione attraverso il suo sistema di visione e rispondendo appropriatamente.



Figura 13: Wabot-2

Oltre al robot Wabot-2, nel 1984, è stato sviluppato dalla Waseda University il robot Wasubot: questo robot è equivalente a Wabot-2, tranne per il fatto che utilizza due WAM-8 per gli arti superiori ed è molto più semplice a livello di gestione e mantenimento. Wasubot è in grado di suonare uno strumento a tastiera dopo aver letto uno spartito ed è capace di variare anche in sedici tonalità differenti. Ha partecipato a un concerto con la NHK Symphony Orchestra, suonando "Aria sulla Quarta corda" di J. S. Bach alla cerimonia di apertura dell'esposizione internazionale di scienza e tecnologia nel 1985.



Figura 14: Wasubot

Wabot-1, Wabot-2 e Wasubot sono solo i primi di una lunga serie di prototipi costruiti presso l'università di Waseda. Un esempio di questa serie è Wabian, descritto nel paragrafo successivo.

## Wabian

L'acronimo Wabian sta per WAseda BIpedal humANoid.

Wabian è un robot umanoide di ultima generazione equipaggiato con un sistema di controllo in grado di replicare la camminata umana. 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. La camminata è bilanciata utilizzando il movimento del tronco. I movimenti sono calcolati offline con un metodo di learning. WABIAN è dotato di un controllo compliance dei giunti. I giunti hanno un alto coefficiente di smorzamento per assorbire gli urti.

Gli obiettivi di Wabian sono sviluppare il meccanismo di controllo del movimento degli esseri umani dal punto di vista della robotica e stabilire una base tecnologica per costruire il personal robot del futuro.

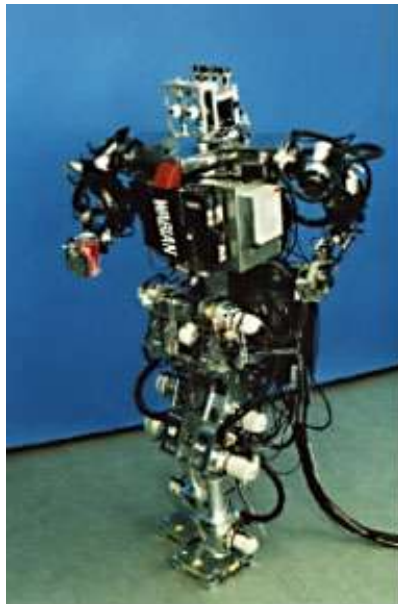


Figura 15: Wabian

### Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	35
Peso	107 kg
Altezza	1.66 m
Attuatori	AC servomotors, DC servomotors
Unità di controllo	Camminata e operazioni, PC/AT CPU board Pentium
Alimentazione	Cavo
Velocità	0.2 m/s per il trasporto di 2 kg

Tabella 2: Caratteristiche tecniche di Wabian

Esistono varie versioni di Wabian. La versione descritta è quella realizzata nel 1995. Le altre versioni si differenziano in termini di dimensioni e implementazione in generale. Ad esempio Wabian-RII è in grado di ballare grazie allo sviluppo della coordinazione del movimento.

## Wabian-2/LL (Lower Limb)

Wabian-2/LL è costituito da tronco, bacino e due gambe. E' controllato da un computer montato sul suo tronco. Il computer di controllo contiene una scheda CPU PCI con Pentium III (1.26 GHz), che è connessa a schede I/O tramite bus PCI.



Figura 16: Wabian-2/LL

I robot umanoidi bipedi convenzionali hanno 6 gradi di libertà in ogni gamba. Questo si discosta dalla realtà perché gli esseri umani hanno più gradi di libertà in ogni gamba e hanno la possibilità di eseguire diverse andature. Per questo motivo nello sviluppo del Wabian-2/LL l'attenzione è stata concentrata sul movimento del bacino umano inserendo due gradi di libertà nel robot. Inoltre sono stati inseriti due gradi di libertà per ogni gamba che permettono la rotazione completa della stesa o la rotazione completa della caviglia. L'aggiunta di due gradi di libertà nella parte del bacino permette di ottenere una camminata più simile a quella umana. Questo nuovo meccanismo ha il vantaggio di permettere al robot di camminare piegando le ginocchia in direzioni indipendenti da quella del movimento. Poiché la gamba ha 7 gradi di libertà e il bacino ha 2 gradi di libertà, il robot ha la capacità di camminare come un essere umano. Inoltre ha la possibilità di cambiare l'andatura durante la camminata.

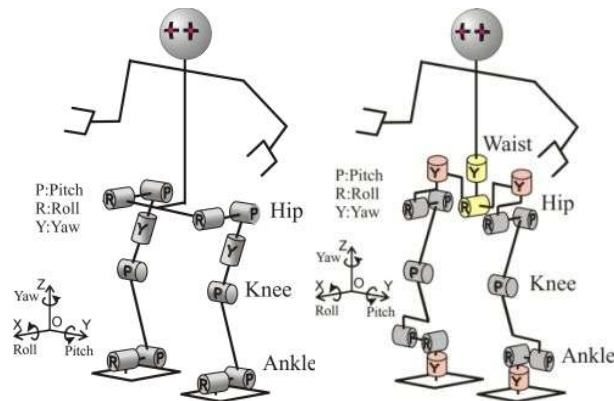


Figura 17: confronto tra Wabian (a sinistra) e Wabian-2/LL (a destra)

### Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	6 per le caviglie, 2 per le ginocchia, 6 per l'anca e 2 per il bacino
Peso	50 kg con le batterie, 45.3 kg senza le batterie
Altezza	1.22 m
Sensori	6 sensori di forza/momento, photo sensor, encoder magnetico
Attuatori	DC servo motor
Batterie	Batteria Ni-H

Tabella 3: Caratteristiche tecniche di Wabian-2/LL

Dall'integrazione di due braccia e una testa senza particolari caratteristiche con Wabian-2/LL è derivato Wabian-2, mostrato in figura.



Figura 18: Wabian-2

Si sposta ora l'attenzione dai progetti di robot umanoidi realizzati presso l'università di Waseda a quelli sviluppati presso il MIT.

Presso il laboratorio di intelligenza artificiale del MIT, due gruppi lavorano sulla robotica umanoide. Un gruppo è concentrato sulla locomozione dei bipedi, mentre l'altro sviluppa robot umanoidi come strumento per la comprensione della rappresentazione del mondo da parte degli umani. I primi progetti di questo secondo gruppo erano basati sul lavoro dei filosofi George Lakoff e Mark Johnson, i quali sostenevano che tutto ciò che riguarda la comprensione del mondo da parte degli umani si basa sulle esperienze vissute da giovani. Ad esempio essi affermavano che il concetto di affetto usa il calore come metafora perché i bambini sono esposti al calore dei corpi dei loro genitori quando viene dimostrato affetto.

Similmente si tende a usare la grandezza come metafora per l'importanza perché i genitori sono importanti e grandi e invero dominano l'esperienza visuale dei bambini.

Molti aspetti di percezione e controllo motorio sono stati sviluppati nel robot analizzato nel paragrafo successivo: Cog. I suoi sviluppatori hanno compreso che ci sono molti precursori alle rappresentazioni esplicite delle metafore. Nel caso di robot con forma umanoide, progettati per agire nel mondo come le persone, questi precursori sono interazioni sociali basate su sistemi emozionali, espressioni facciali e movimenti degli occhi. I movimenti degli occhi sono guidati da esigenze di percezione imposte dalla sottostante architettura degli occhi.

## Cog e Kismet

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

E' rilevante la presenza di numerosi apparati sensoriali che permettono al robot di avere una percezione di se stesso e dell'ambiente che lo circonda. Grazie a un sistema vestibolare artificiale, il robot è in grado di orientare lo sguardo verso eventuali fonti di stimolazione esterne, ad esempio suoni, oggetti in movimento e contatti fisici. Inoltre è in grado di coordinare il sistema motorio, il sistema visivo e il sistema uditivo.

Cog è dotato di un sintetizzatore vocale e di due mani a 4 dita con sensori di forza e di tatto.

Il cervello di Cog è contenuto in un network di calcolatori che riescono a elaborare le informazioni provenienti dai sensori e di conseguenza a controllare la postura e la reattività del robot in tempo reale.

Nella figura seguente è possibile vedere due immagini del robot appena descritto.

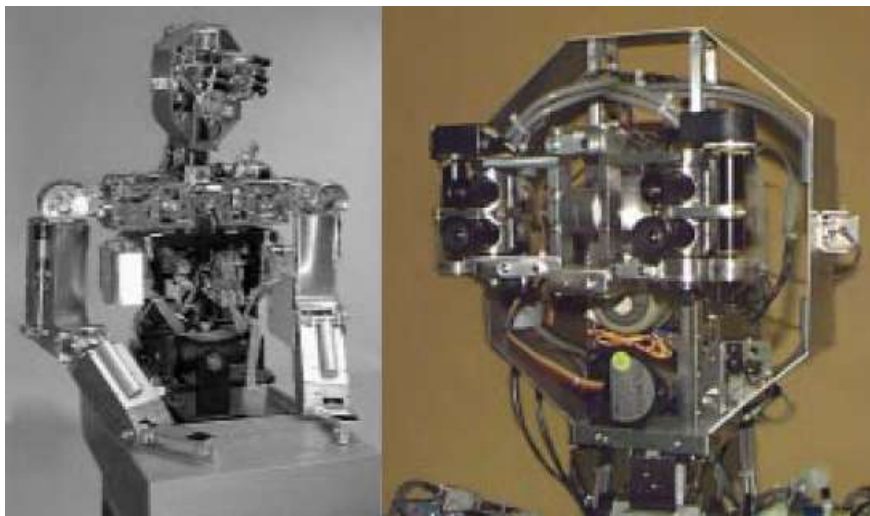


Figura 19: Cog



Il robot Cog fa parte di un progetto più ampio partito nel 1993 nel laboratorio di intelligenza artificiale del MIT (Boston) e sviluppato dal gruppo di lavoro di Rodney Brooks. Questo progetto ha due obiettivi principali: uno di tipo ingegneristico che consiste nella costruzione del robot general purpose analizzato e uno di tipo scientifico che consiste nella comprensione dei meccanismi della percezione umana. Infatti Cog è usato nell'ambito della ricerca sugli aspetti dell'interazione sociale. Per questo stesso scopo è stato sviluppato Kismet, che è possibile vedere nella figura seguente.

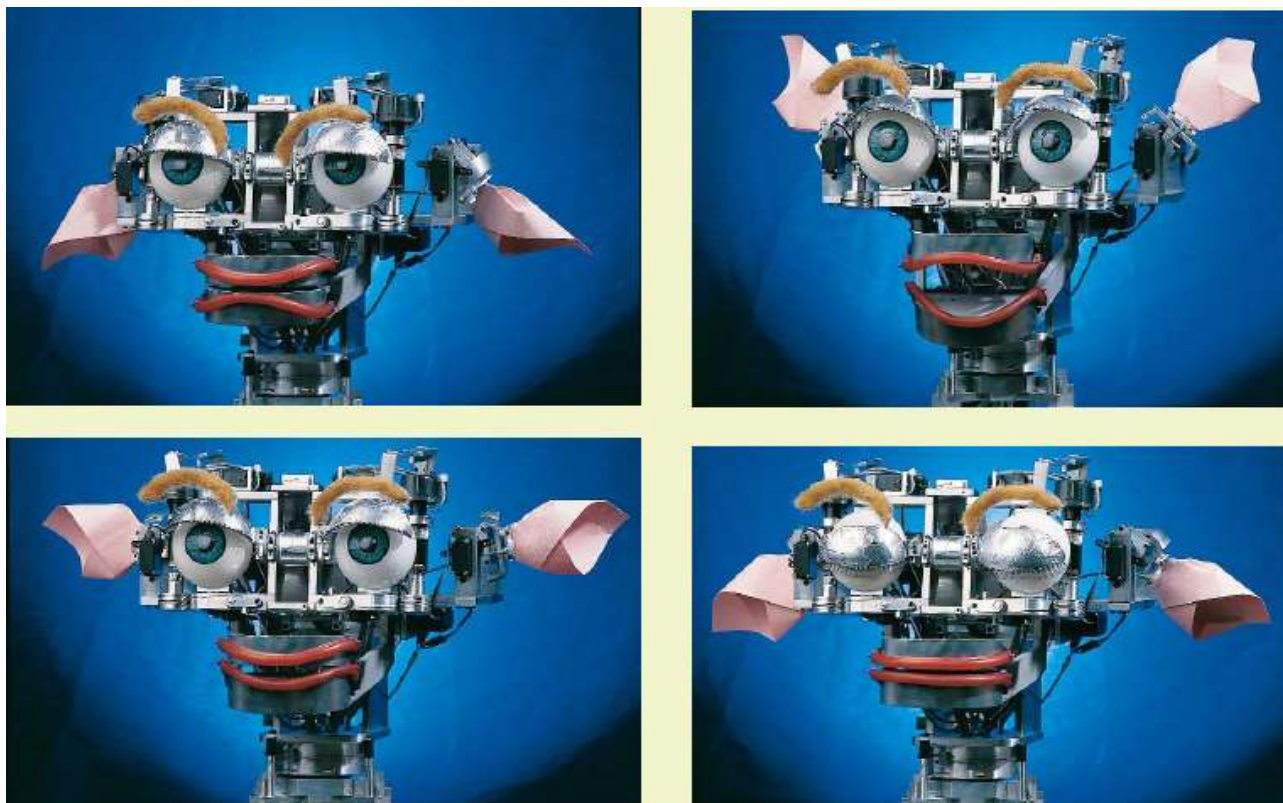


Figura 20: Espressioni di Kismet

Cog e Kismet possiedono un sistema di visione attivo, cioè un sistema di visione con telecamere orientabili che si muovono in determinate direzioni come parte di un processo di percezione. Un sistema di visione umanoide con la stessa struttura meccanica di base degli umani e degli altri mammiferi e che segue le stesse primitive motorie usate dagli umani sembra essere animato e realistico. Sia in Cog che in Kismet sono state implementate varie capacità tipiche dell'occhio umano con prestazioni paragonabili a quelle degli umani, anche se le loro telecamere hanno una risoluzione globale molto più bassa di quella dell'occhio umano. Cog e Kismet possiedono capacità che consentono di percepire aspetti 3D del mondo. Inoltre sono in grado di discernere i volti umani attraverso una varietà di metodi e stimare la direzione dello sguardo fisso di una persona determinando la direzione che i loro occhi stanno puntando. I robot non hanno un sistema visivo buono come quello umano, tuttavia le stime con un'accuratezza da tre a cinque gradi sono utili per le interazioni sociali.

I sistemi di interazione e controllo di Cog e Kismet sono eseguiti su più di una dozzina di computer. Non ci sono un esecutivo centrale e una zona centrale di controllo per i robot. Tuttavia essi sembrano operare in una maniera coerente. L'artificio di basso livello che permette questa coerenza è il meccanismo di attenzione visuale, che determina dove il robot sta guardando. La direzione dello sguardo del robot determina ciò che viene visto da

tutti i processi di percezione di basso livello. Questo a sua volta determina quali comportamenti del robot sono attivi. La coerenza di comportamento del robot non è determinata da qualche meccanismo di bloccaggio interno ma dalla direzione dello sguardo fisso sul mondo.

I sistemi visivi di Cog e Kismet costituiscono la base per le loro interazioni sociali. Anche un semplice osservatore umano può capire a cosa i robot stanno prestando attenzione dalla direzione del loro sguardo fisso. Nello stesso modo i robot possono capire a cosa una persona sta prestando attenzione dalla direzione dello sguardo fisso della persona. Il sistema di attenzione visuale, schematizzato nella figura seguente, rende completamente intuitivo per semplici utenti direzionare il sistema di attenzione visuale del robot su alcuni oggetti particolari.

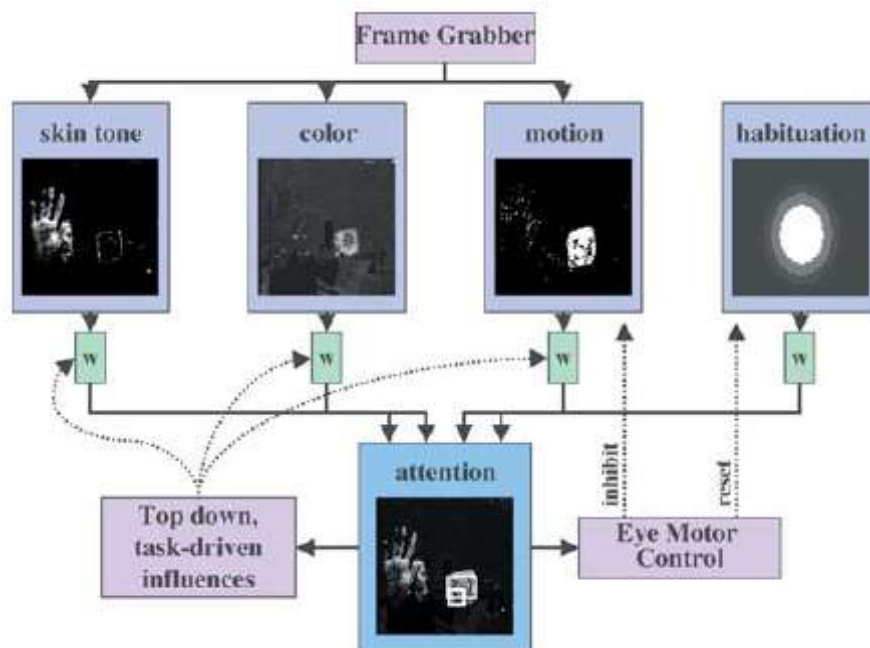


Figura 21: Sistema di attenzione visuale

Il sistema di attenzione visuale usato in Cog e Kismet funziona nel seguente modo. I robot prestano attenzione a oggetti con colore cutaneo, colori luminosi o movimento veloce. I comportamenti di livello più alto determinano come questi fattori sono ponderati insieme. Poi il sistema motore dell'occhio si focalizza sulla parte più importante dell'immagine. Un segnale di assuefazione rende meno interessante qualsiasi caratteristica che eventualmente appare interessante, permettendo al robot di prestare attenzione a qualcosa di nuovo.

Cynthia Breazeal descrisse una serie di esperimenti in cui si chiedeva ai soggetti di ottenere che il robot prestasse attenzione a diversi oggetti. Tipicamente essi dovevano portare l'oggetto nel campo di visione del robot, poi scuoterlo e muoverlo fino alla posizione desiderata. I soggetti sperimentali non avevano conoscenza di come operava il sistema visivo del robot, ma erano in grado di usare le stesse strategie che avrebbero usato con un bambino.

Si analizza ora un robot umanoide realizzato presso l'università di Vanderbilt, un'altra università che ha rivestito un ruolo importante nello sviluppo della robotica umanoide.

# Isac

Isac è un robot umanoide che fu progettato e costruito presso l'università di Vanderbilt come piattaforma di ricerca per la robotica di servizio. Questo sistema umanoide fornisce anche un test-bed per sviluppare nuove tecnologie per le comunicazioni da essere umano a robot e da robot a essere umano, includendo metodi audio, visivi e gestuali.

Alcuni progetti di ricerca relativi a Isac sono l'interazione tra umano e umanoide, i muscoli artificiali di McKibben, il doppio comando delle braccia, la rilevazione del movimento tramite infrarossi, la localizzazione con ultrasuoni e la mano dell'umanoide (chiamata PneuHand).

A livello hardware, il sistema di questo robot umanoide contiene due braccia SoftArm pneumatiche a sei gradi di libertà attuate mediante muscoli artificiali di McKibben con emulazione EMG dei muscoli umani (agonista – antagonista – agonista), due mani antropomorfe a quattro dita progettate e costruite dall'IRL, due sensori di forza connessi ai giunti del polso di ogni braccio, un compressore d'aria e un sistema di erogazione dell'area compressa.

E' possibile vedere due fotografie di Isac nelle figura seguenti.

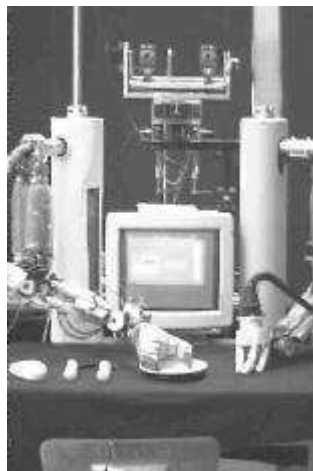


Figura 22: Isac



Figura 23: Isac che interagisce con uno studente

# Asimo

Asimo è il più avanzato dei bipedi Honda. E' un robot umanoide realizzato per simulare la camminata umana sia statica che dinamica.

Il numero di gradi di libertà delle sue gambe è ridotto al minimo indispensabile. Infatti ha 6 gradi di libertà per gamba. I 14 gradi di libertà rimanenti permettono ad Asimo di mantenere l'equilibrio in ogni situazione. I piedi di Asimo hanno un sistema di assorbimento delle forze di impatto che consente di ammortizzare l'andatura e di avere una minore sollecitazione dei giunti. Asimo ha dimensioni ridotte principalmente per due motivi: innanzitutto i motori degli attuatori peserebbero troppo e occuperebbero uno spazio eccessivo, inoltre la batteria necessaria per il funzionamento di questi motori avrebbe dimensioni e peso rilevanti. Poiché Asimo deve essere in grado di muoversi in maniera naturale, è risultato necessario dare al robot delle dimensioni convenienti.

Le mani dei bipedi Honda hanno due dita.

E' possibile vedere un'immagine di Asimo nella figura seguente.



Figura 24: Asimo

## Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	26
Altezza	1.2 m
Peso	52 kg
Velocità di camminata normale	1.6 km/h
Tempo di funzionamento continuo	30 minuti

Tabella 4: Caratteristiche tecniche di Asimo

Nella seguente figura sono mostrati in ordine cronologico i robot umanoidi creati dalla Honda, dalla realizzazione delle prime gambe artificiali fino al robot appena analizzato.



Figura 25: Bipedi Honda

Nella seguente tabella sono stati elencati e brevemente descritti i bipedi umanoidi realizzati dalla Honda prima dello sviluppo di Asimo.

E0	Si tratta delle prime gambe artificiali costruite dalla Honda nel 1986.
E1	E' il primo prototipo in grado di camminare con un'andatura statica alla velocità di 0.25 km/h e con una certa distinzione di movimento tra le due gambe.
E2	E' il primo prototipo in grado di realizzare un movimento dinamico alla velocità di 1.2 km/h imitando la camminata umana.
E3	Si tratta di gambe artificiali in grado di camminare alla normale velocità umana di 3 km/h.
E4	In questo prototipo l'altezza del ginocchio fu aumentata a 40 cm per simulare la velocità di 4.7 km/h di un passo umano veloce.
E5	Si tratta del primo modello di locomozione autonomo.
E6	Si tratta del primo prototipo con un controllo autonomo di bilanciamento che permette di salire e scendere le scale e scavalcare gli ostacoli.
P1	E' il primo prototipo di un modello simile all'uomo dotato di un corpo e arti superiori.
P2	E' il primo robot umanoide in grado di realizzare un movimento realistico.
P3	Si tratta di un'evoluzione in dimensione e peso.

Tabella 5: Bipedi umanoidi sviluppati dalla Honda

Il 15 dicembre 2004 presso la Honda Motor a Tokyo è stato annunciato lo sviluppo di nuove tecnologie per il robot umanoide Asimo di prossima generazione. Si cerca di raggiungere un nuovo livello di mobilità che permetterà ad Asimo di funzionare e interagire con gli esseri umani processando velocemente le informazioni e agendo più agilmente negli ambienti del mondo reale. Le tecnologie chiave sono le seguenti:

- una tecnologia di controllo della postura che renda possibile correre in modo naturale come un essere umano,
- una tecnologia di movimento continuo autonomo che permetta la creazione di un percorso flessibile fino alla destinazione,
- tecnologie basate su sensori di forza e visivi perfezionati che permettano una interazione più facile con gli esseri umani.

La seguente tabella riassume le caratteristiche tecniche del nuovo modello.

#### Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	34
Altezza	1.2 m
Peso	54 kg
Velocità di camminata normale	2.5 km/h
Velocità di corsa	3 km/h
Tempo di funzionamento continuo	1 h

Tabella 6: Caratteristiche tecniche del prossimo modello di robot umanoide della Honda

Come accennato precedentemente, i robot con morfologia umana sono particolarmente adatti a operare all'interno di ambienti progettati per gli esseri umani. Per fornire una piattaforma di ricerca sperimentale per un corpo completo integrato con percezione e controllo, furono costruiti i prototipi di robot umanoidi H6 e H7. Originariamente essi furono progettati da S. Kagami e dai membri del laboratorio JSK presso l'università di Tokyo. Uno degli obiettivi di questa ricerca è lo studio dei comportamenti basati su percezione e azione.

## H6

La costruzione del primo prototipo di H6 fu completata dalla [Aircraft and Mechanical Systems Division](#) delle [Kawada Industries, Inc.](#) a giugno 2000.

Tutti i suoi giunti principali sono guidati da motori DC e da meccanismi guida Harmonic. Un PC di bordo dotato di processori Pentium III da 750 MHz con RT-Linux è utilizzato per l'azionamento dei servomeccanismi in tempo reale e per la compensazione di bilanciamento.

Il sistema è connesso alla rete tramite ethernet wireless. Così il robot è completamente contenuto in se stesso, cioè può operare senza cavi esterni.

E' possibile vedere una fotografia di H6 nella figura seguente.



Figura 26: H6

#### Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	35, di cui 6 per ogni gamba, 1 per ogni piede, 7 per ogni braccio, 1 per ogni mano, 2 per il collo e 3 per gli occhi
Peso	55 kg, di cui 4 kg di batterie
Altezza	1.37 m
Larghezza	0.59 m

Tabella 7: Caratteristiche tecniche di H6

## H7

H7 è un robot umanoide realizzato presso il laboratorio JSK. La costruzione del primo prototipo fu completata dalla [Aircraft and Mechanical Systems Division](#) delle [Kawada Industries, Inc.](#) a marzo 2001.

H7 è dotato di un sistema di visione che consente di creare una mappa 3D in tempo reale. Tutti i suoi giunti principali sono guidati da motori DC e da meccanismi guida Harmonic. Un PC di bordo dotato di processori Pentium III da 1.1 GHz con RT-Linux è utilizzato per l'azionamento dei servomeccanismi in tempo reale e per la compensazione di bilanciamento.

Il sistema è connesso alla rete tramite ethernet wireless. Così il robot è completamente contenuto in se stesso, cioè può operare senza cavi esterni.

E' possibile vedere una fotografia di H7 nella figura seguente.



Figura 27: H7

#### Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	30, di cui 6 per ogni gamba, 1 per ogni piede, 6 per ogni braccio, 1 per ogni mano e 2 per il collo
Peso	58 kg, di cui 3.2 kg di batterie
Altezza	1.47 m
Larghezza	0.6 m
Autonomia	15 minuti

Tabella 8: Caratteristiche tecniche di H7

Successivamente a H6 e H7, la Aircraft and Mechanical Systems Division delle Kawada Industries sviluppò il robot umanoide Isamu. Questo robot sfrutta le tecnologie ottenute dalla realizzazione di H6 e H7.

## Isamu

Isamu è un robot umanoide realizzato dalla Aircraft and Mechanical Systems Division delle Kawada Industries insieme con il laboratorio Inoue-Inaba dell'università di Tokyo. Il sistema software di controllo della camminata del bipede è stato sviluppato dal laboratorio Inoue-Inaba. L'hardware e le strutture del robot sono state sviluppate dalle Kawada Industries.

Al corpo di Isamu sono state applicate tecnologie sviluppate per aerei. Questo ha portato a una struttura forte e leggera.

Sulle mani di Isamu sono stati installati sensori di tatto. Ogni mano può afferrare oggetti sollevando fino a 2 kg.

Isamu è in grado di camminare avanti e indietro spostandosi di 25 cm a ogni passo. E' possibile controllare il tipo e la velocità della camminata tramite un joystick.



Tramite gli input grafici di due telecamere, Isamu è capace di riconoscere volti umani precedentemente impostati. Si può vedere una fotografia di Isamu nella figura seguente.



Figura 28: Isamu

#### Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	32
Altezza	1.5 m
Peso	55 kg
Velocità	2 km/h

Tabella 9: Caratteristiche tecniche di Isamu

I progetti finora analizzati sono stati condotti in laboratori universitari. Tuttavia anche altre istituzioni, ad esempio la NASA, sono interessate allo sviluppo di robot umanoidi. Un esempio di robot umanoide realizzato dalla NASA è Robonaut, descritto nel paragrafo successivo.

## Robonaut

Robonaut è un robot umanoide costruito al Johnson Space Center nel 1991.

Ha più di 50 gradi di libertà ed è equipaggiato da due mani e braccia antropomorfe che consentono di afferrare e utilizzare qualsiasi attrezzo in dotazione agli astronauti. Non presenta arti inferiori perché sono inutili in assenza di gravità. Può essere collegato a un manipolatore per aumentare lo spazio di lavoro.

Robonaut può essere telemanipolato tramite un sistema di realtà virtuale immersiva che consente all'operatore di avere un feedback visivo della scena e di controllare l'arto artificiale attraverso il movimento della sua mano.

Gli scopi della costruzione di robot umanoidi da parte della NASA sono l'assistenza agli astronauti nelle attività extraveicolari sulle stazioni spaziali orbitanti e l'uso nelle esplorazioni interplanetarie.

## Greenman

Greenman è un manipolatore antropomorfo sviluppato tra il 1983 e il 1988 alla NRad, che cambiò nome in Space and Naval Warfare Systems Center. Si tratta di un sistema di dimostrazione di presenza remota.

Questo robot ha un controllore master dell'esoscheletro con equivalenza cinematica e corrispondenza spaziale di tronco, braccia e testa. Il suo sistema di visione è composto da due videocamere, ciascuna avente un campo di visione di trentacinque gradi.

Greenman fornì allo SSC di San Diego una preziosa esperienza riguardo ai problemi e ai progetti di teleoperazione e di telepresenza. Anche con le sue semplici mani a pinza e senza feedback di forza o di tatto, operatori principianti possono eseguire compiti di manipolazione prontamente e senza preparazione.

E' possibile vedere una fotografia di Greenman nella figura seguente.

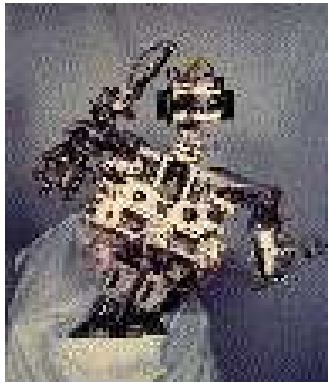


Figura 29: Greenman

Si analizza ora un robot umanoide creato per lo studio del comportamento umano, in particolare per la comprensione delle funzioni di alto livello del cervello tramite l'analisi matematica.

## DB

DB è un robot umanoide nato dalla collaborazione tra la Japan Science and Technology Corporation e la Sarcos Company. L'acronimo DB sta per Dynamic Brain.

DB ha una morfologia molto simile a quella umana. Ha la stessa struttura cinematica del corpo umano con trenta gradi di libertà attivi senza contare le dita. E' stato costruito come una persona robusta. Si muove come un essere umano in modo veloce ed elegante. Le articolazioni sono mosse da un sistema di attuatori idraulici che riescono a riprodurre la cinematica del corpo umano. DB è dotato di sensori di posizione e forza su ogni grado di libertà.

DB è in grado di interagire con la gente ed è capace di apprendere movimenti (primitive) osservandone l'esecuzione da parte di un operatore umano. Dunque il metodo di apprendimento di DB è basato sulla dimostrazione, che è in forte contrasto con il classico

approccio di programmazione dei robot da manuale. L'apprendimento dalla dimostrazione implica l'osservazione di una dimostrazione di un insegnante che esegue un compito. Dalla dimostrazione il robot apprende una funzione di guadagno e un modello del compito che può essere acquisito da ripetuti tentativi di eseguire il compito. La conoscenza della funzione di guadagno e del modello del compito consente al robot di elaborare un appropriato meccanismo di controllo. Per permettere al robot di acquisire questa capacità, è stato studiato il cervello umano nel tentativo di capire i meccanismi dell'apprendimento. Il seguente brano, tratto da un articolo comparso sulla rivista Technology Review, illustra brevemente il metodo di apprendimento di DB.

"Il ricercatore sta di fronte al robot, agitandogli intorno un cane di peluche. DB guarda con apparente intensità, inclinando la sua testa e seguendo il giocattolo con i suoi occhi elettronici. Poi estende un braccio idraulico e accarezza il cane, un po' goffamente, sulla testa. Un grande schermo vicino mostra cosa vede il robot e gli algoritmi che lo stanno facendo funzionare."

E' possibile vedere una fotografia di DB nella figura seguente.



Figura 30: DB

## Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	30 gradi di libertà, di cui 3 per la testa, 4 per gli occhi, 14 per le braccia, 3 per il tronco e 6 per le gambe
Peso	80 kg
Altezza	1.85 m
Sensori	10 sensori lineari, 20 sensori rotazionali e per ogni grado di libertà (tranne i gradi di libertà degli occhi) un sensore di carico
Attuatori	25 attuatori idraulici lineari e 5 attuatori idraulici rotazionali
Alimentazione	Potenza idraulica

Tabella 10: Caratteristiche tecniche di DB

DB non è solo un altro robot che mostra un'attività simile a quella umana.

Gordon Cheng, responsabile della sezione robot umanoidi alla ATR, pensa a DB come a un soggetto sperimentale che "mangia" elettricità e ha per sangue il fluido idraulico. Secondo lui, lavorare con i robot insegna come i pezzi si integrano insieme per formare un sistema complesso che può emulare il corpo e il cervello umani. Per controllare il braccio di DB, ad esempio, il software calcola quali comandi produrranno la giusta sequenza di movimenti nelle articolazioni fino a ottenere un certo risultato. Kawato, direttore dei lavoratori di neuroscienze computazionali della ATR, e Cheng credono che un processo simile accada nel cervello umano. Infatti pensano che gli esseri umani utilizzino modelli interni per calcolare le relazioni fra segnali neurali e i movimenti del corpo conseguenti. Per esempio, quando si prende una tazza, i neuroni nel cervello attingono ai modelli interni per stabilire quale serie di segnali spedire a spalla, gomito e polso. È come se il cervello stesse facendo complessi calcoli ogni volta che si beve un caffè. Si tratta di un sistema che può sembrare intuitivo a uno studioso di robotica, ma che per anni la maggior parte dei neuroscienziati ha trovato ridicolo. Infatti si chiedevano come i neuroni potrebbero compiere calcoli così complessi. Loro ritenevano che i segnali di comando in partenza dal cervello fossero molto più semplici e che muscoli e riflessi, non qualche astratto modello, spiegassero esaurientemente il comportamento del movimento. Ma durante l'ultimo decennio Kawato ha offerto serie prove del contrario, dimostrando come modelli interni siano in effetti necessari per i movimenti dell'occhio e del braccio e potrebbero persino essere importanti nell'interazione con altre persone e con oggetti nell'ambiente.

Tuttavia nella pratica è difficile trarre connessioni dirette fra robot e umani. Una simile operazione richiederebbe che i robot e i loro algoritmi mimassero la fisiologia e la neurologia umana il più precisamente possibile. Invece il cervello di DB non risiede neanche nella sua testa, visto che si trova su diversi computer esterni, e ogni tipo di azione, come raggiungere oggetti o fare il giocoliere, richiede l'intervento di un diverso ricercatore specializzato. Il comportamento di DB potrebbe o non potrebbe aver molto a che fare con il modo in cui funziona il cervello umano. Per scoprirlo il team di Kawato sta studiando come le persone imparano a risolvere i problemi. In esperimenti condotti nel laboratorio di Kawato alcuni soggetti giacciono in una macchina per la visualizzazione dell'attività cerebrale tramite risonanza magnetica e imparano a usare strumenti non consueti, come un mouse modificato, per seguire un oggetto che si muove su uno schermo. Certe aree del cervelletto si illuminano, indicando un aumento del flusso sanguigno in determinati gruppi di neuroni. I ricercatori credono che questi neuroni rappresentino un modello interno delle azioni coordinate necessarie per usare lo strumento, proprio come quelle programmate in DB. Combinando le immagini ottenute con la risonanza magnetica, che offre una risoluzione spaziale di circa un millimetro, con tecniche di registrazione magnetica ed elettrica, che definiscono l'attività cerebrale in pochi

millisecondi, il gruppo di Kawato spera di comprendere più dettagliatamente cosa accade tra questi neuroni. Si tratta di quello che Kawato chiama decodifica della mente, ossia leggere le intenzioni di una persona basandosi soltanto sulla struttura dei segnali neurali. Se avrà successo, costituirà una svolta nella comprensione del funzionamento della mente. Tradurre i messaggi del cervello in un linguaggio che un robot possa capire è un passo verso la realizzazione di un'antica ambizione tecnologica: creare un'interfaccia cervello-macchina che funzioni a distanza, permettendo a un utente di partecipare a eventi che accadono migliaia di chilometri lontano. Un casco potrebbe monitorare l'attività cerebrale di una persona e trasmetterla al robot umanoide remoto attraverso Internet. In tempo quasi reale le azioni della persona potrebbero così essere replicate dal suo doppio digitale. Per costruire questo sistema i ricercatori dovrebbero cercare nel cervello i segnali specifici dell'azione, tradurli, trasmetterli via radio senza grandi ritardi e usarli per controllare un dispositivo all'altra estremità. Il "puzzle" non è completo, ma la miscela di robotica e neuroscienza di Kawato potrebbe sistemare i primi pezzi.

Si analizza ora l'ultimo robot umanoide completo prima di passare alla trattazione dei robot semiumanoidi.

## **Manny**

Manny è un robot umanoide completo a quarantadue gradi di libertà sviluppato presso i laboratori della Battelle's Pacific Northwest a Richand (Washington) tra il 1986 e il 1989. Per la realizzazione di questo robot, sono stati necessari dodici ricercatori, tre anni di sviluppo e due milioni di dollari.

Si tratta di un manichino robotico realizzato per testare rivestimenti protettivi. Prima di Manny, il test dei rivestimenti protettivi era eseguito usando manichini statici o esseri umani.

Manny è in grado di riprodurre movimenti umani come camminare, sedersi, girarsi e piegarsi. Questo permette di esaminare gli effetti dei movimenti umani sull'efficacia dei rivestimenti protettivi in una maniera realistica, controllata e ripetibile. Oltre alla velocità e alla serie di movimenti realistici di Manny, furono inclusi respiro e sudore simulati insieme con un controllo di temperatura della superficie della "pelle".



Figura 31: Manny

Si analizzano ora robot semi-umanoidi.

## Hermes

Hermes è un robot semi-umanoide costruito dall'[Institute of Measurement Science / Intelligent Robots Lab](#) presso l'università Bundeswehr di Monaco per dimostrare cosa può essere realizzato con componenti appena sviluppati e metodi di controllo avanzati. Come risultato, Hermes è uno dei sistemi robotici più avanzati attualmente disponibile.

Ha una base di ruote omnidirezionale e una struttura flessibile e modulare composta da attuatori e sensori. Possiede sensori aggiuntivi di sicurezza. Il suo corpo è in grado di piegarsi. Ogni braccio ha sei gradi di libertà e due dita a pinza.

Hermes è capace di esplorare ambienti sconosciuti, eseguire compiti di trasporto e manipolazione in aree spaziose popolate da esseri umani e interagire e comunicare in una maniera naturale e intuitiva anche con utenti principianti. Dialoga in linguaggio naturale grazie a un'interfaccia multimodale tra umano e robot basata sull'ascolto. Questa interfaccia è basata anche sulla visione e sul tatto. Per il sistema di visione si hanno due gradi di libertà indipendenti per ogni telecamera.

Hermes possiede venticinque moduli guida simili con interfacce meccaniche ed elettriche compatibili. Inoltre ha un'interfaccia di comando standardizzata per tutti i venticinque moduli guida.

Hermes ha un'integrazione con Internet.

### Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	22
Peso	250 kg

Tabella 11: Caratteristiche tecniche di Hermes

## Hadaly-2

Hadaly è un robot antropomorfo sviluppato nel 1995 presso la Waseda University per studiare la comunicazione tra uomo e robot.

E' composto da tre sottosistemi principali: un sottosistema di visione, un sottosistema di ascolto e comunicazione e un sottosistema motorio. Il sottosistema di visione consente al robot di girarsi verso l'operatore, quello di comunicazione permette di conversare con l'operatore in giapponese e quello motorio consente di muovere le braccia.

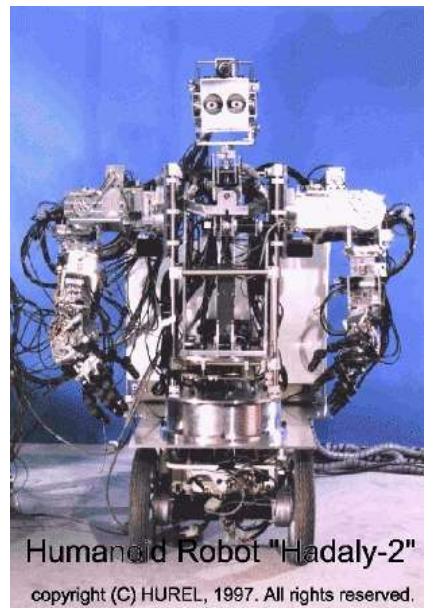


Figura 32: Hadaly-2

## Wendy

Wendy è un altro esempio di robot umanoide realizzato alla Waseda University.

E' stato sviluppato per svolgere compiti in cooperazione con gli umani in uno spazio di lavoro condiviso in modo sicuro. Questi compiti sono di tipo domestico e medico.

Wendy ha un sistema di operazione e un sistema di simulazione integrati. Il sistema di operazione permette a Wendy di generare ed eseguire vari compiti. Il sistema di simulazione, chiamato RHICS (Robot Human Interactive Communication System), genera automaticamente i movimenti di Wendy imitando i movimenti di un essere umano e permette di studiare la comunicazione verbale e non verbale con gli esseri umani.

Per realizzare meccanicamente un controllo di impedenza passiva di un giunto del robot, è stato sviluppato un nuovo meccanismo di giunto, chiamato MIA (Mechanical Impedance Adjuster). Il modello di braccio per Wendy è un manipolatore antropomorfo che utilizza MIA in ogni giunto. Il braccio MIA a sette gradi di libertà può realizzare compliance estremamente meccanica, che è abbastanza efficace per assorbire e seguire la forza esterna applicata dall'ambiente o dagli esseri umani.

Dato che c'è frequentemente interferenza fisica tra umani e robot durante la cooperazione, è stata introdotta una copertura su tutta la superficie di Wendy per rilevare informazioni di

tatto e di forza. Basandosi su questi dati, Wendy può realizzare diverse interazioni fisiche con gli umani. Inoltre il sistema di controllo di Wendy può calcolare un movimento appropriato basandosi sulle informazioni di tatto e di forza quando ha collisioni con umani.

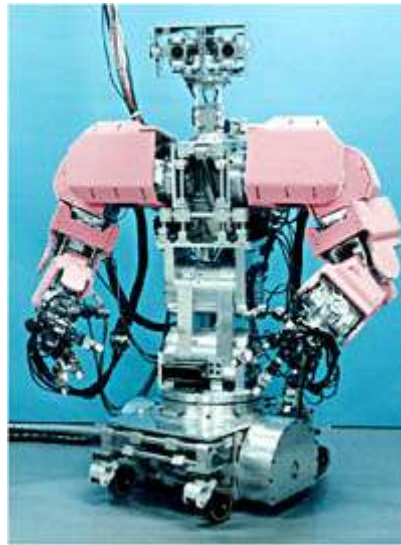


Figura 33: Wendy

#### Caratteristiche tecniche

Gradi di libertà	52, di cui 26 per le mani, 14 per le braccia, 4 per il collo, 3 per gli occhi, 3 per il corpo, 2 per il veicolo
Peso	161 kg
Altezza	1.47 m
Sistema di visione	Telecamere CCD

Tabella 12: Caratteristiche tecniche di Wendy

## Saika

Saika è un progetto di robot umanoide sviluppato tra il 1996 e il 1998 presso il laboratorio Jouhou System Kougaku (dipartimento di informatica-meccanica) dell'università di Tokyo da due professori e circa cinquanta studenti. Il suo nome significa "notevole intelligenza" in giapponese. Si tratta di un robot di basso costo con dimensioni umane e peso leggero. Saika è stato dotato di una struttura modulare per ridurre il costo di sviluppo e rendere semplice il mantenimento. E' costituito da un tronco, una testa, un collo con due gradi di libertà e due braccia superiori con cinque gradi di libertà. Il peso totale di tronco, testa, collo e braccia superiori è solo otto chilogrammi. Per questo robot sono stati sviluppati molti tipi di mani e avambracci, scelti in base ai compiti da eseguire.

La maggior parte dei motori sono stati installati all'interno del tronco e delle braccia. Come esempi di controllo del movimento basato sul comportamento, sono stati studiati tre tipi di manipolazioni pratiche: colpire una palla rimbalzante, afferrare oggetti sconosciuti procedendo a tastoni e prendere una palla lanciata.

E' possibile vedere due fotografie di Saika nella figura seguente.



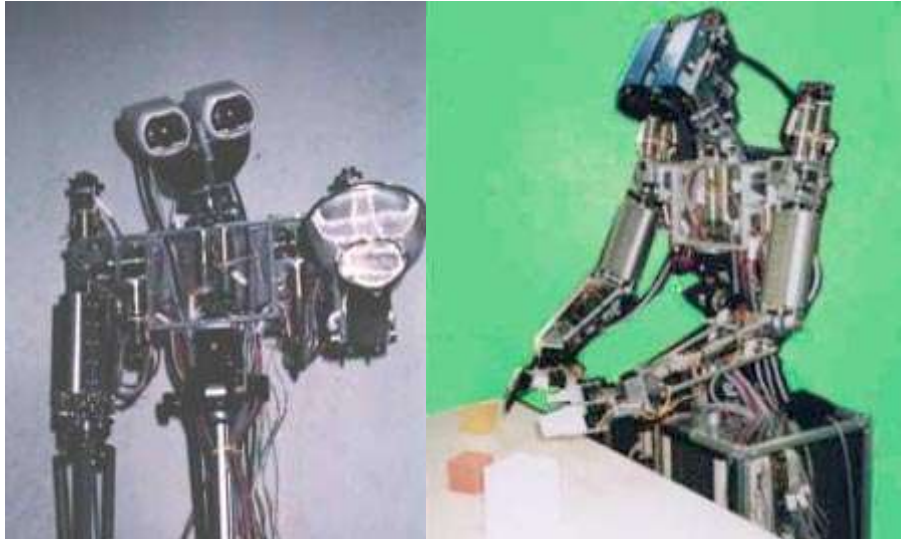


Figura 34: Saika

## Conclusioni e sviluppi futuri

Sviluppare tecnologie chiave per i futuri sistemi robotici, come i robot di servizio e i robot personali, è un compito molto difficile e impegnativo ma anche stimolante.

Anche se i progetti analizzati rappresentano passi importanti nella giusta direzione, i risultati funzionali giungono lentamente. Infatti i robot umanoidi risultano inefficienti per molti compiti e richiedono un allenamento intensivo per l'apprendimento.

Il futuro promette la presenza di molti robot nella vita di tutti i giorni. Probabilmente essi saranno utilizzati non solo nell'industria secondaria, dove attualmente giocano ruoli attivi soprattutto come sostituti della forza lavoro umana, ma anche nell'industria dei servizi, che è un campo dell'industria terziaria.

Solo se saranno umanoidi, i robot rappresenteranno un progresso tecnologico rispetto ai loro omologhi relativamente funzionali. Infatti dall'analisi dei progetti e prototipi considerati in questo stato dell'arte è possibile affermare che la robotica umanoide permette di affrontare problemi per cui le strutture generalmente sviluppate nella robotica non sono sufficienti. Si tratta di problemi che richiedono l'imitazione e la riproduzione di funzionalità degli esseri umani. Risulta pertanto necessario che i robot abbiano sembianze e comportamento umani e siano in grado di trattare le informazioni come un essere umano.

Molti dei tratti che si considerano unicamente umani non derivano dalla forza, dall'affidabilità o dalla precisione con cui gli esseri umani eseguono i compiti. Infatti essi sono abbastanza poveri di queste qualità. Questa non è una combinazione, ma un vestigio della loro adattabilità e della loro ingegnosità. L'ottimalità porta a una condizione di stasi e ostacola la versatilità. A differenza dei campi dell'informatica, gli algoritmi di intelligenza umana non sono né provabili né versatili. Quando si effettua il passaggio dal campo degli algoritmi e del mondo virtuale al campo del mondo reale, in cui si ha a che fare con sensori rumorosi, umidità e pavimenti scivolosi, la nozione di una soluzione perfetta lascia posto alle più obbligate possibilità di flessibilità e adattamento.

Forse la caratteristica più umana di tutte è la sorprendente abilità degli esseri umani di essere inclini all'errore e incoerenti e tuttavia farcela. Questa capacità deriva almeno in parte dall'abilità degli esseri umani di riconoscere e sfruttare l'imperfezione usando le oscillazioni arbitrarie in essi stessi e nel loro comportamento per guidare l'apprendimento, la creatività, l'umore e l'inventiva. I robot umanoidi non abusano di questi attributi umani ma piuttosto li sostengono permettendo di muoversi ulteriormente verso il cuore di ciò che significa essere umani.

La ricerca nel campo della robotica umanoide tende innanzitutto a migliorare l'interazione con gli esseri umani. In particolare si cerca di fornire assistenza agli esseri umani, ad esempio a persone invalide o anziane, e migliorare la comunicazione gestuale e vocale. Un altro obiettivo della ricerca è la riproduzione dell'adattamento e della versatilità tipici degli esseri umani nei robot umanoidi. Infatti, sebbene siano già state costruite macchine in grado di eseguire ripetutamente un compito nello stesso modo, questo può essere utile per certi compiti ma risultare inadatto in condizioni diverse da quelle previste.