

L'intelligenza robotica

Introduzione alla Robotica

Alberto Borghese
Università degli Studi di Milano
Laboratorio di Motion Analysis and Virtual Reality (MAVR)
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
borgnese@dsi.unimi.it

Materiale in parte tratto dal lavoro di Cappelli, Giovannetti

Progetto Robocare 2003

<http://pst.ip.rm.cnr.it/robocare/>



1/62

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



Riassunto



- **Cos'è la robotica.**
- Breve storia della robotica.
- Gli androidi.
- Interfaccia uomo-robot.
- I robot industriali.



Da dove deriva la parola robotica?



Parola coniata dallo drammaturgo ceco Karel Capek per indicare il lavoro non volontario.

Introdotta nella sua opera teatrale “R.U.R. (Rossum’s Universal Robots)”, Gennaio 1921.

I robot di Capek erano creati mediante procedimenti chimico/biologici, non erano meccanici.

Il termine *robotica* si riferisce allo studio ed all’uso dei robot. Coniato ed usato per la prima volta dallo scienziato e scrittore Isaac Asimov.

Utilizzato in “Runaround”, una storia pubblicata nel 1942.



Le leggi della Robotica



Legge zero Un robot non può causare danno all’umanità, o, a causa della sua inazione, permettere che l’umanità venga danneggiata.

Prima legge Un robot non può causare danno ad un essere umano, o permettere che un essere umano venga danneggiato.

Seconda Legge Un robot deve obbedire ad un ordine impartito da un essere umano.

Terza legge Un robot deve proteggere se stesso.



Definizioni del termine “robot”



“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*

“Force through intelligence”

“Where AI meet the real world”

“macchina automatica capace di svolgere, con opportuni comandi, alcune funzioni o attività proprie dell’uomo; automa meccanico”

Dizionario Garzanti



Caratteristiche di un robot



Programmabilità capacità di elaborazione che il progettista può combinare come desidera.

Mobilità possibilità di interagire fisicamente con l’ambiente.

Flessibilità capacità di esibire un comportamento adatto alla situazione.

Autonomia



Meccatronica



La differenza tra computer, sistemi di controllo e robot, può essere sfumata.

La caratteristica principale che contraddistingue un robot è la presenza di sensori e attuatori.

La robotica copre concetti e conoscenze derivanti da almeno tre campi:

- meccanica
- elettronica
- informatica
- chimica (più recentemente)



Riassunto



- Cos'è la robotica.
- **Breve storia della robotica.**
- Gli androidi.
- Interfaccia uomo-robot.
- I robot industriali.



I primi automi



- Cina. Statuette raffiguranti umani, 7,000 a.C.
- Egitto. Statue animate: 3,000 a.C.
- Tebe. Incoronazione dei re da una statua animata.
- Cavallo di Troia (1,000 a.C.).

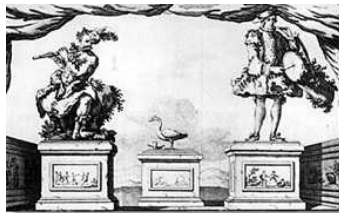
- Leonardo da Vinci disegnò il primo “robot” nel 1500.



I robot nella storia

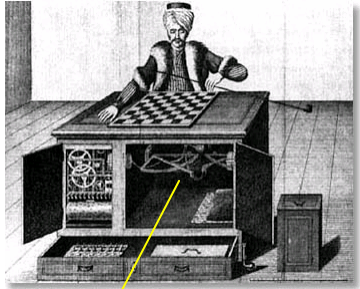


- Automi di Efesto (Iliade)
Teste parlanti degli alchimisti (Medio Evo)
Golem (creatura di argilla del XV secolo – Praga)
Automi a orologeria (XVIII secolo)
Giocatori di scacchi (con nano incluso)
Mostro di Frankenstein (Mary Shelley 1818)

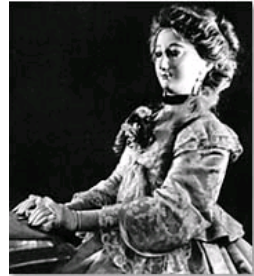




I precursori dell'animatronica



Il giocatore di scacchi,
Wolfgang von Kempelen, 1769



La musicista,
Pierre Jaquet-Droz, (1753-1791)
(cf. Waseda – II)

http://access.tucson.org/~michael/hm_intro.html

Scomparto per
nascondere
l'aiutante (nano)
A.A. 2003-2004

Omaggio alla complessità della natura umana.

Omaggio all'abilità dell'inventore.

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



I robot industriali



Primo brevetto di un robot industriale 1954 (manipolatore meccanico programmabile)
General Motors 1961 – primi robot industriali produttivi

In Italia invece il primo robot ad essere realizzato risale al 1969 dalla DEA, si trattava di una macchina per effettuare la saldatura a punti.

Un'altra società italiana la "olivetti" nel 1973 costruì, per uso interno, un sistema di montaggio a più bracci, nel quale vennero utilizzati per la prima volta dei sensori tattili. Era il prototipo del modello che sarebbe stato commercializzato dal 1976 con il nome di SIGMA.

Verso la metà degli anni '70 alla robotica industriale si uniscono le grandi case automobilistiche ed altre grandi aziende, come ACMA(Renault), COMAU(Fiat), Volkswagen ecc.



A.A. 2003-2004

12/62

<http://homes.dsi.unimi.it/~borgnese>



I robot di prima generazione (i bracci robotici, 1970)



Sono macchine programmabili senza possibilità di controllo delle modalità reali di esecuzione e senza comunicazioni con l'ambiente esterno.

I robot della prima generazione erano apparecchiature a bassa tecnologia, che non operavano sotto servocontrollo. Di conseguenza, venivano comunemente soprannominati “**robot fracassoni**” a causa del rumore prodotto dai bracci che urtavano con i fermi meccanici usati per limitarne i movimenti.

Quasi tutti i robot della prima generazione erano a funzionamento pneumatico ed i loro regolatori automatici generalmente consistevano in elementi logici ad aria, ossia in tamburi a dividere segmenti da camme che servivano ad attivare delle valvole a sfiato d'aria, o un relè che controllavano delle valvole pneumatiche a solenoide.

La prima generazione di robot degli anni sessanta veniva essenzialmente impiegata per il carico/scarico delle macchine o per svolgere semplici operazioni di movimentazione dei materiali.



A.A. 2003-2004

13/62

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



I robot di seconda generazione (la catena di montaggio)



Sono macchine programmabili a comportamento autoadattivo con elementari possibilità di riconoscimento dell'ambiente esterno.

Nel caso dei robot della seconda generazione, si trattava di meccanismi a media tecnologia, dotati di servocontrollo, che potevano essere programmati per spostamenti da punto a punto o lungo un percorso continuo.

Il controllo avveniva tramite regolatori logici programmabili o minicomputer ed erano programmabili on line per mezzo di una piccola teach-box area.

I robot della seconda generazione disponevano di software dedicati per applicazioni specifiche. Quindi, se il robot era destinato a svolgere un determinato compito, come per esempio il carico di una macchina, era molto difficile impiegare lo stesso robot per un'altra operazione, come per esempio la saldatura a resistenza. Per farlo, sarebbe stato necessario modificare sostanzialmente il sistema di controllo ed il software operativo.

Inoltre i robot della seconda generazione dispongono di capacità diagnostiche di basso livello, che generalmente si limitano a segnalare le avarie all'operatore tramite spie luminose. Spettava quindi all'operatore risalire alle effettive cause dell'avaria. La seconda generazione degli anni settanta era in grado di svolgere compiti più complessi, quali il controllo dei centri di lavoro o la saldatura delle carrozzerie.



A.A. 2003-2004

14/62

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



I robot di terza generazione (esplorazione)

• Sono macchine autoprogrammabili interagenti con l'ambiente esterno e l'operatore in modo complesso (visione, voce, ecc.) in grado di autostruirsi per l'esecuzione di un compito assegnato (intelligenza artificiale).

• I robot della terza generazione sono apparecchiature ad alta tecnologia che operano sotto servocontrollo e possono essere programmate per spostamenti da punto a punto o lunghi percorsi continui. La programmazione può avvenire on line per mezzo di una tastiera prensile oppure off line attraverso un videoterminale.

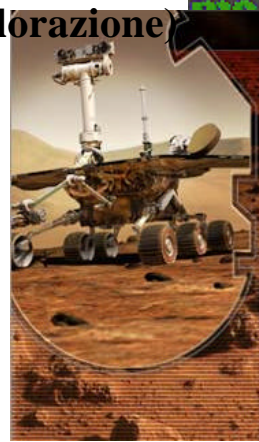
• Questo tipo di robot utilizza linguaggi di programmazione ad alto livello e può essere interfacciato con una banca dati CAD o con un calcolatore host per il carico/scarico di programmi oggetto. I sistemi di controllo disponibili sono in grado di elaborare dati sensoriali per regolare adattivamente i movimenti e compensare i cambiamenti di posizione ed orientazione dei pezzi.

• Inoltre, grazie al feedback dei dati sensoriali ed all'interfacciamento con una banca dati CAD o un calcolatore host, i robot della terza generazione possono inviare dei messaggi all'operatore, per descrivere la natura e l'ubicazione delle eventuali avarie.

• Attualmente, i robot di questo tipo sono impiegati per eseguire compiti "intelligenti", come la saldatura ad arco adattiva, nel corso delle quali il robot utilizza la visione o la percezione "attraverso l'arco" per localizzare il giunto di saldatura ed ottenere informazioni di guida del movimento.

• Per mezzo della programmazione off line e della percezione visiva, questi robot sono utilizzati anche per la prova non distruttiva di componenti, specialmente laddove sono presenti superfici complesse e profili sagomati.

• La terza generazione (fine anni 80) si è ormai evoluta al punto di riuscire a svolgere operazioni altamente sofisticate come le ispezioni tattili, le lavorazioni a mano libera, le saldature ad arco adattive e le operazioni di assemblaggio.



Rover spirit (Marte)



Riassunto



- Cos'è la robotica.
- Breve storia della robotica.
- **Gli androidi.**
- Interfaccia uomo-robot.
- I robot industriali.



I robot umanoidi (androidi), quarta generazione: il futuro



ANDROIDE - O umanoide. Questo prodotto della robotica viene così definito (da Webster):

« **Un automa con figura umana che imita le azioni e funzioni umane** ».

Da un lato la ricerca si è concentrata sui sorprendenti umanoidi, simili a dei manichini, come Actroid, con visi di silicone, truccati e vestiti.

Dall'altro su umanoidi, bipedi, con forme umane ma simili ai robot dei cartoni animati, con capacità di apprendimento e di varietà di repertorio motorio.

Sono anche un mezzo per indagare l'interazione sociale degli umani.

Sono robot sociali, non più necessariamente industriali.



I primi robot umanoidi: Waseda – I: 1970



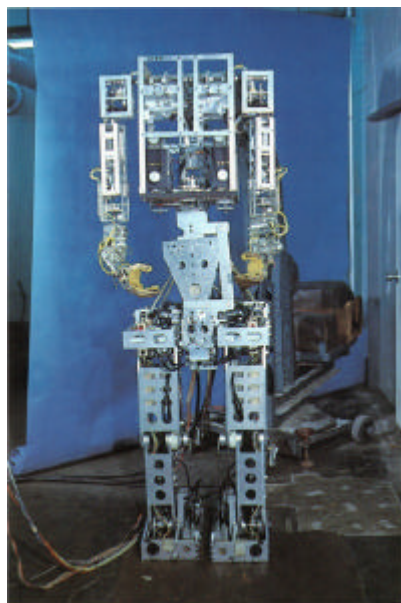
Braccia e gambe robotiche.

Sensori visivi e tattili.

Interazione mediante il linguaggio.

Capacità di presa e trasporto.

Capacità di valutazione delle distanze.





I primi robot umanoidi: Waseda – II: 1984



Robot specializzato nel suonare con l'organo pezzi di media difficoltà.

Primo robot androide personalizzato.



Cog – dal 1995



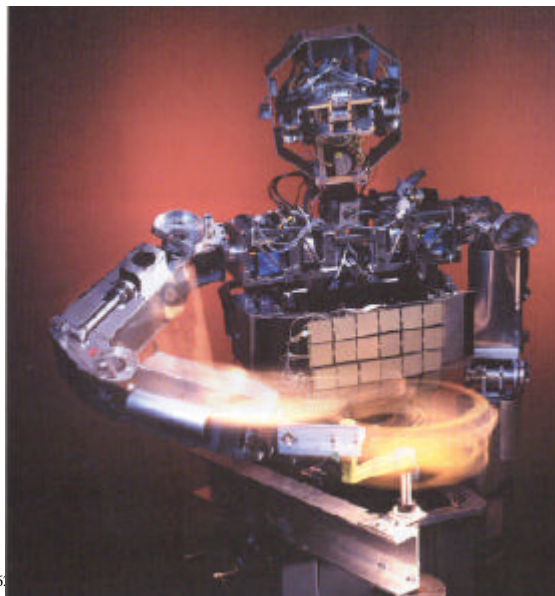
Movimenti oculari.

Riconoscimento oculare.

Riconoscimento facce.

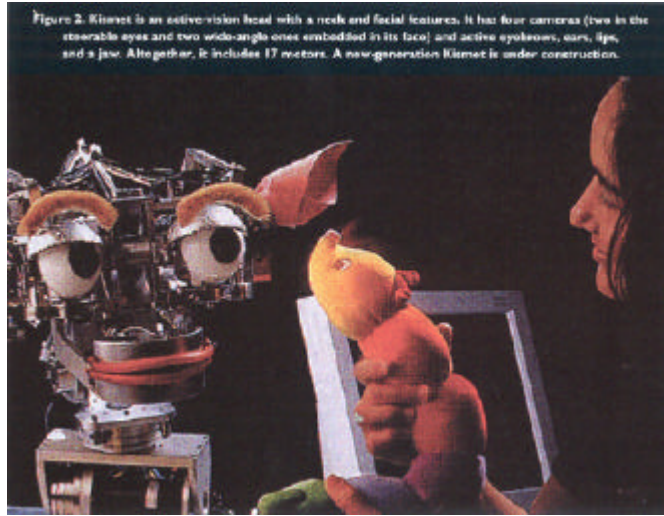
Controllo distribuito.

Percezione distribuita.





Kismet, 1998 (sostituita da Leonardo)



Esperimenti di relazione emotiva sociale.



Alcuni androidi – Actroid – 2003 - Kokoro



Actroid – guida nei musei e ai ristoranti.

1,58cm per 30 kg.

Pelle al silicone.

Capacità di esprimere 40 diverse
“emozioni”.

Motori pneumatici.





Asimo – Sony -2000

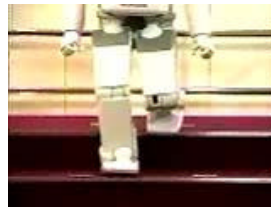
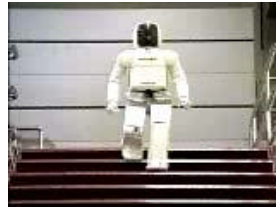


<http://world.honda.com/ASIMO/P3/>

Investimento di 10 anni e 100 milioni di dollari.



Asimo sulle scale





Robovie – ATR - 2003



Robot di compagnia.

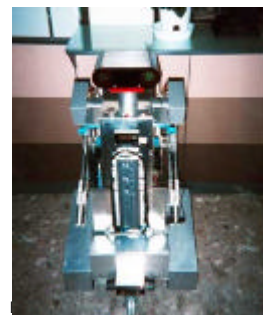
A.A. 2003-2004

25/62

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Tmsuk (Inc.) – 1993 - 2003



Trasferire macro comandi al robot via rete.

Il robot come avatar.

A.A. 2003-2004

26/62



Dall'animatronica alla robotica



Karakuri Robot World

A robotic world traces an attractive history of amusement robots including automata in the European Middle Ages. A pair of beautiful karakuri dolls simultaneously dance and show the mechanism. This is a robotic science exhibition with cultural aspect, which illustrates the history of mechanical engineering and mechanism of robots, as well as the history of music box.

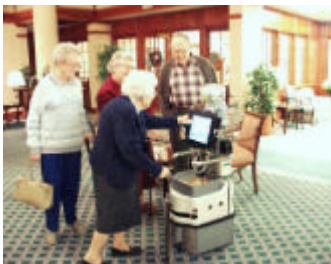
A.A. 2003-2004

27/62

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



I robot sociali (non solo androidi)



health care



entertainment



offices

A.A. 2003-2004

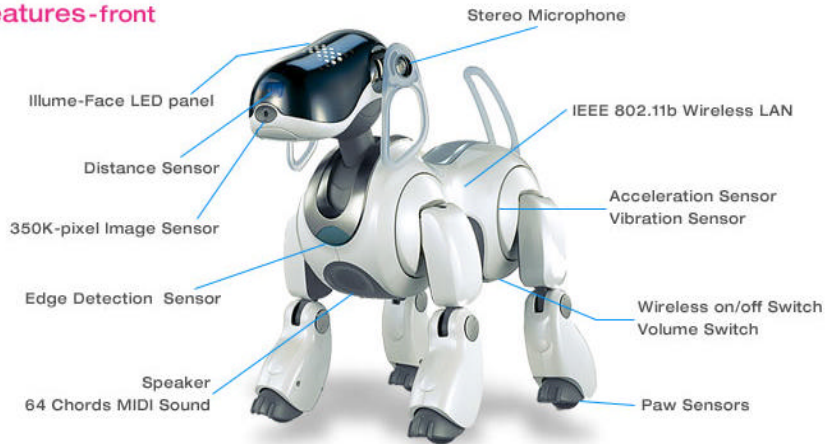
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



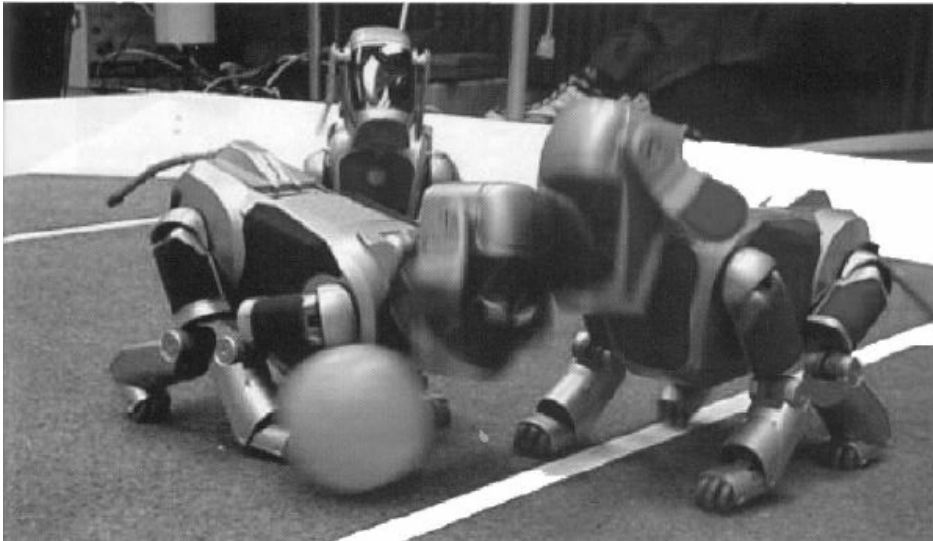
Aibo – Sony – ultima versione: 2003



► Features-front



Soccer championship for robots





Herber Simon in 2000 said: "Here around CMU, we have been amazed, amused, gratified, and instructed by the developments in robot soccer. For four years, and with rapidly increasing skill, computers have been playing a human game requiring skillful coordination of all the senses and motor capabilities of each player, as well as communication and coordination between players on each team, and strategic responses to the moves of the opposing team. We have seen in the soccer games an entire social drama played out with far less skill (thus far) than professional human soccer, but with all the important components of the latter clearly visible.

"Here we see, in a single example, a complex web of all the elements of intelligence and learning—interaction with the environment and social interaction, use of language—that AI has been exploring for half a century and a harbinger of its promise for continuing rapid development. Almost all of our hopes and concerns for the future can be examined in miniature in this setting, including our own role in relation to computers."

A.A. 2003-200

...tp:\homes.dsi.unimi.it~borghese

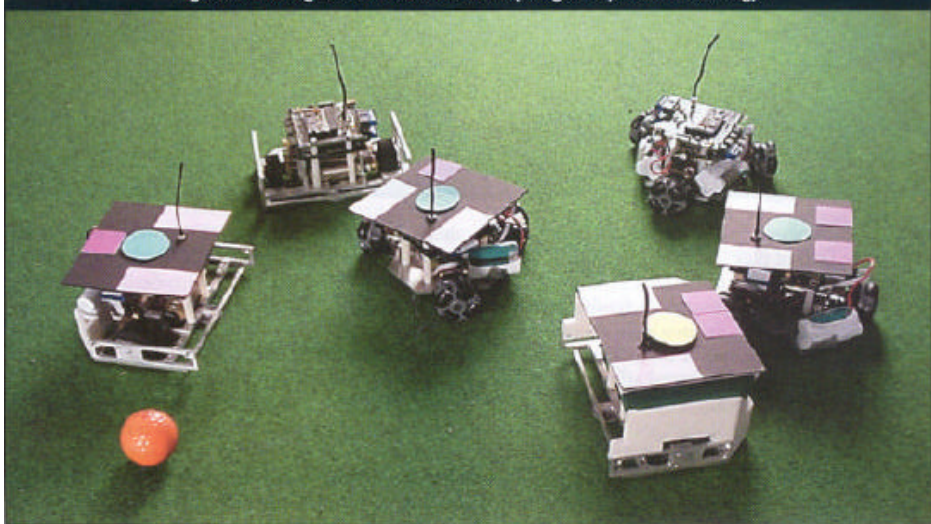


Why robot soccer?



I robot della Canegie Mellon

Figure 2. Carnegie Mellon soccer robots (designed by Brett Browning).



A.A. 2003-2004

32/62

http:\homes.dsi.unimi.it~borghese





Qrio – Sony - 2003



A.A. 2003-2004

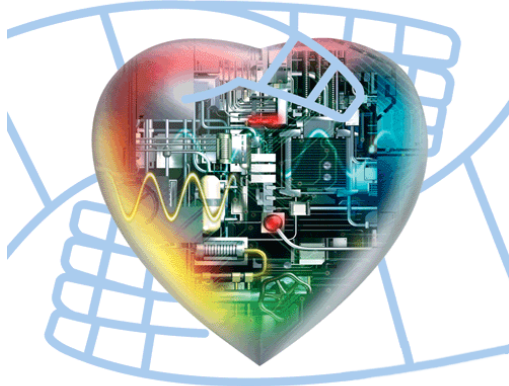
33/62

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



INTERNATIONAL ROBOT EXHIBITION 2003

Robot Technology Pioneers the Future
– From Manufacturing to Personal Life –



A.A. 2003-2004

Date: From Wed, November 19 to Sat, November 22, 2003
Venue: Tokyo International Exhibition Center (Tokyo Big Sight, Ariake)
Organizers: Japan Robot Association, The Nikkan Kogyo Shimibun Ltd.

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Riassunto



- Cos'è la robotica.
- Breve storia della robotica.
- Gli androidi.
- **Interfaccia uomo-robot.**
- I robot industriali.



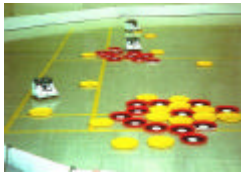
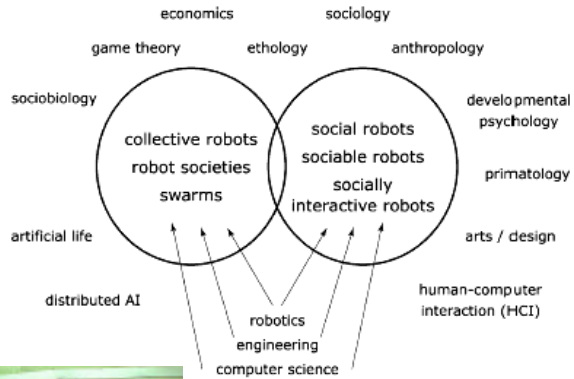
Importance of Human-Robot Interaction.



- In a few years, robots will be part of our society: inside our houses, offices, hospitals...
- To interact with these “social” robots:
 - people don't have to use standard I/O devices (keyboard, mouse, screen, etc.);
 - they don't have to know any programming language.
- Human-Robot Interaction (HRI) is crucial for the development of natural interfaces.
 - Experience from the Human-Computer Interaction (HCI) community can be very useful.



Collective Robots vs. Social Robots



U-Bots sorting objects



Sony's AIBO



A Taxonomy for HRI. (1)



- **Autonomy level / Amount of intervention**

0% autonomy / 100% intervention



An example of telepresence:
NASA's Robonaut

100% autonomy / 0% intervention



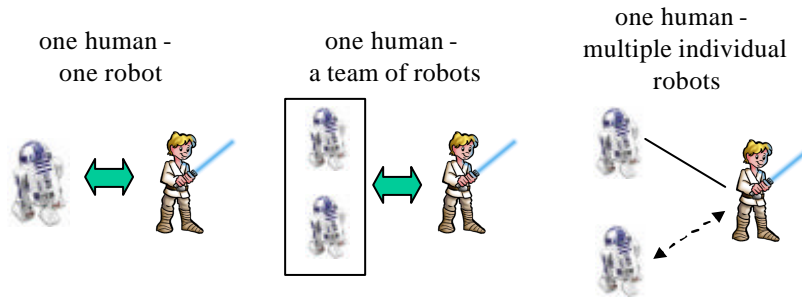
An example of autonomous robot:
CERO by IPLab



A Taxonomy for HRI. (2)



- Ratio of people to robots.
- Level of shared interaction among teams:



A.A. 2003-2004

39/62

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



A Taxonomy for HRI. (3)



- Decision support for operators.
- Criticality.
- Time/Space:

		Time	
		same	different
Space	same	Robot wheelchair	Manufacturing Robots
	different	Urban Search and Rescue	Mars Rover

- Composition of robot teams.

A.A. 2003-2004

40/62

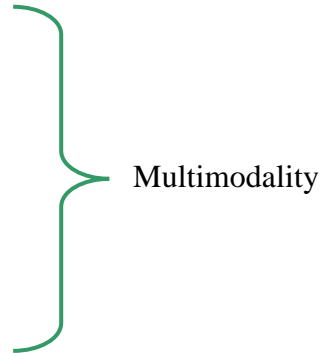
<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Interaction modalities.



- Speech;
- Gestures;
- Facial expressions;
- Gaze;
- Proxemic and kinesic signals;
- New frontiers: Haptics.



Interaction modalities: Speech.



- creating speech interfaces is a primary goal, they're particularly useful when:
 - the hands and the eyes of the user are occupied,
 - the use of conventional input devices is not desired;
- speech interfaces development needs:
 - Natural Language Processing (Understanding and Generation)
 - Speech (Recognition and Synthesis)



Interaction modalities: Speech.



- Some examples of speech based interaction:
 - CERO (IPLab, KTH, Sweden);
 - Hermes (Bundeswehr University Munich, Intelligent Robots Lab)



CERO



HERMES



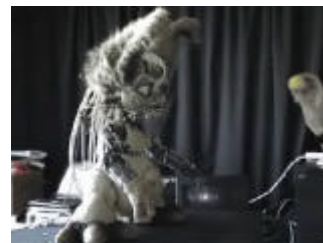
Interaction modalities: Gestures.



- Gestures provide additional information during a dialogue: “Put-That-There” problem
- We need techniques for:
 - Gesture recognition and
 - Gesture production



Penguin robot that recognizes and produces gestures (MERL)



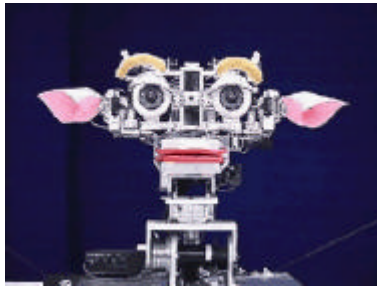
Leonardo tracking objects (Stan Winston Studios) Cynthia Brezalel



Interaction modalities: Facial expressions



- A face characterizes a person and can express emotions during a conversation:
 - face and facial expressions recognition
 - facial expressions production



KISMET (MIT)



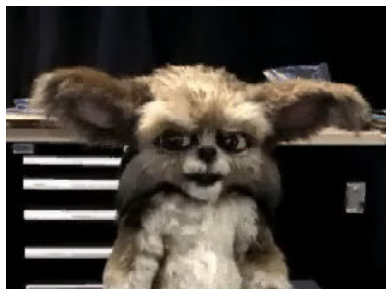
K-Bot (University of Texas)



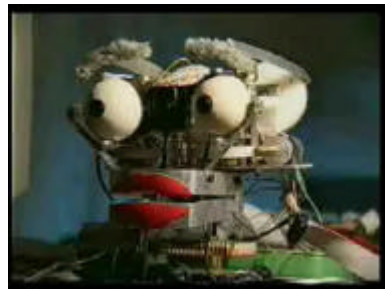
Interaction modalities: Facial expressions.



- Some other examples:
 - Facial Expressions by Leonardo;
 - Facial Feature (and Hands) Recognition by Aryan .



Leonardo (Stan Winston Studios)



Aryan (Hossein Mobahi)



Leonardo, robot emotivo



<http://robotic.media.mit.edu/projects/Leonardo/Leo-intro.html>



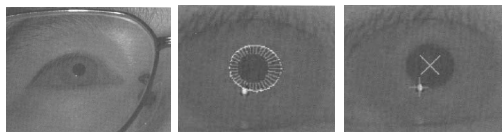
Interaction modalities: Gaze.



- Gaze tracking is important to identify the focus of attention of a person;
- For gaze tracking the robot needs to determine:
 - the direction of the head;
 - the direction of the eyes.



Gaze tracking at IBM



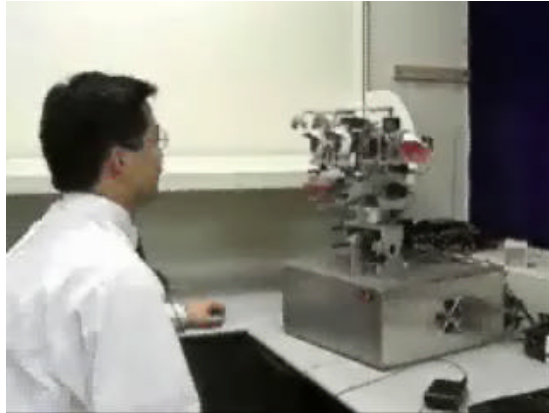
Pupil detection at NTT Communication Science Lab



Interaction modalities: Proxemics and kinesics.



- Proxemics and kinesics are non-verbal communication modalities that add information to a dialogue.
- Proxemics:
 - getting closer
 - backing off
- Kinesics:
 - crossing the arms
 - facing the speaker
 - bowing
 - nodding
 - etc.



KISMET (MIT)



New frontiers: Haptics.

Touch as a mechanism to send and receive information.



- The word “haptic” means “of or relating to or proceeding from the sense of touch”.
- Haptic interaction is related to the sense of touch based on force-feedback or tactile devices.



Stan Winston touching Leonardo
(Stan Winston Studios and MIT)



Riassunto sulla HRI



- Does a “best” human-robot interface exist?
 - every situation requires specific features and different strategies of interaction;
 - speech seems to be the most adequate interaction modality in the majority of situations;
 - the combination of speech with other modalities seems to be crucial for the development of social robots capable of establishing a dialogue.
- Multimodality
 - as a combination of different modalities which realize the human communicative competence.



Riassunto



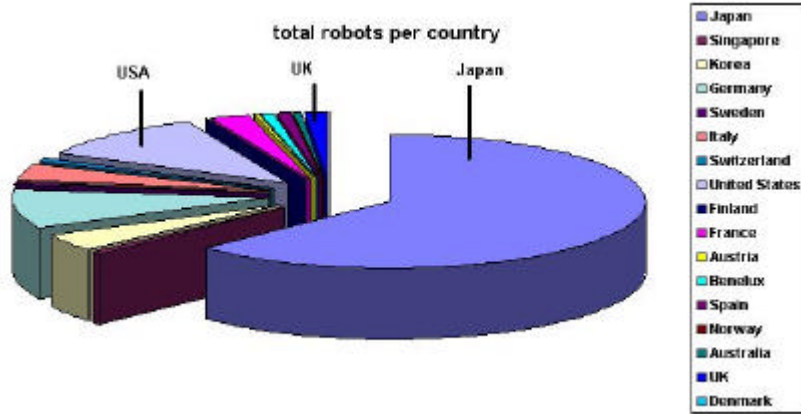
- Cos'è la robotica.
- Breve storia della robotica.
- Gli androidi.
- Interfaccia uomo-robot.
- **I robot industriali.**



Distribuzione mondiale dei robot industriali



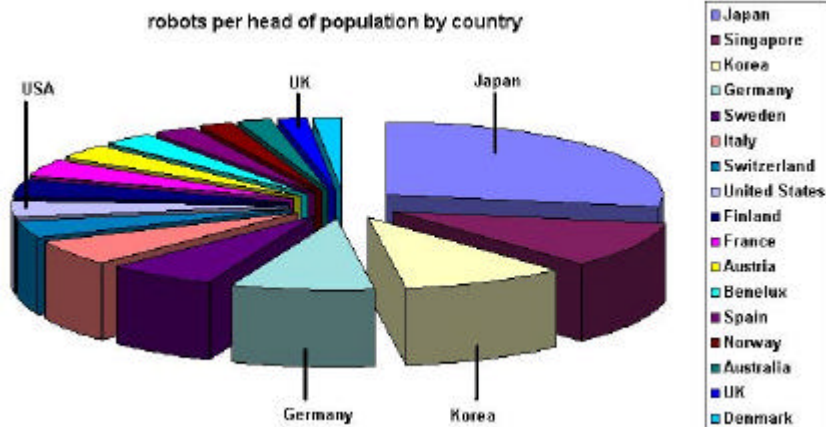
1997



Distribuzione pro-capite nel mondo dei robot industriali



1997





Why use a robot?



A robot is an integration of mechanics, electronics and software. It represents the physical manifestation of information technology - a versatile machine which can carry out the instructions of an intelligent system, e.g. computer, the reverse of virtual reality. There are many different reasons for using a robot but the central reason for most applications is:

to eliminate a human operator.

The most obvious classes of applications are the classic ones:

- **Human is bad for the product** - for example semiconductor handling, food handling, drugs etc.
- **Product is bad for the human** - for example radioactive product.

Within the above are other reasons for using robots for example robots can be used to replace human operators where the dangers are:

Repetitive strain syndrome.

Working with machinery that is dangerous for example presses, winders.

Working with materials which might be harmful in the short or long term.



Impact of the robots



Quality - While the main reason for using a robot is to save labor the biggest impact a robot has can be on quality. Applications where quality will be improved are:

Gluing
Spraying
Testing and gauging.
Assembly.
Laboratory routines.

- Sometimes a human operator can do better than the robot in terms of quality or speed but the robot will do the task consistently.
- For example testing and gauging is often open to human interpretation. Different operators will get differing results. The same has been found to apply in laboratory routines, especially pharmaceutical research where hundreds of sample must be tested with sensitive instruments. Results obtained vary with the operator speed, handling, etc. Applications where the objective has been to save the costs of PhD scientists filling test tubes often yielded more repeatable and accurate results.
- Today quality means goods which are made without defect, consistent because of tightly controlled manufacturing methods behind which lie controlled design methods and even quality controlled management methods. The proof of this philosophy is in Japanese manufactured goods, boringly the same, but of consistent quality. There are no 'Friday' cars.



Riflessioni sulla robotica



•**Payback** - Payback is usually quicker when the product is complex and/or of high value. Low value products can be killed by high labor costs and automation is essential. The throughput is often extremely high with cycle times of a second or less, requiring very fast and therefore very expensive robots. In other cases the impact on quality might be the justification in itself, especially where the human operator can easily introduce errors. Consider this scenario: A human operator is gauging a bearing hole in a motor housing. If the hole is too big the red light comes on and he puts it in basket A. If it is between limits the green light comes on and he puts it in basket B. If the yellow light comes on the hole is too small but may be redrilled so he puts it in basket C. It isn't long before the operator tires and puts the wrong housing in the wrong basket. Or worse still skips testing every other one because he is on piece work. Clearly the robot not only saves labour but cuts rejects and will pay for itself in a short time.

•**Ethics** - There are still many applications where the robot does nothing more than eliminate labor. My own point of view is that many unskilled tasks are so monotonous we should not be asking a human being to do them. The work ethic is greatly over-valued. George Orwell predicted that unemployment would one day be in millions and indeed it is. Perhaps we should be teaching our children more about leisure and less about academic subjects that will never be used either because the jobs these people do are so soul destroying or because the robots are doing them for us.



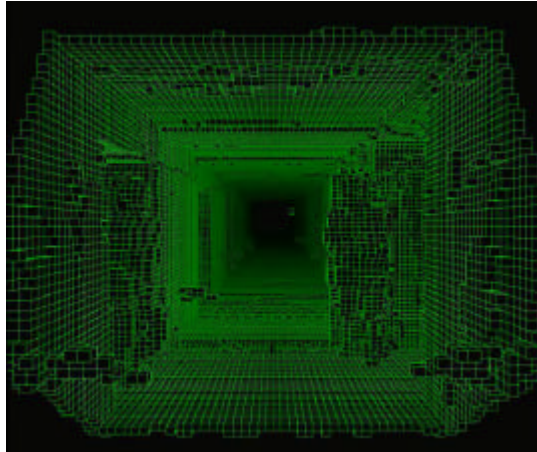
Visione robotica



<http://www.ais.fraunhofer.de/ARC/kurt3D>



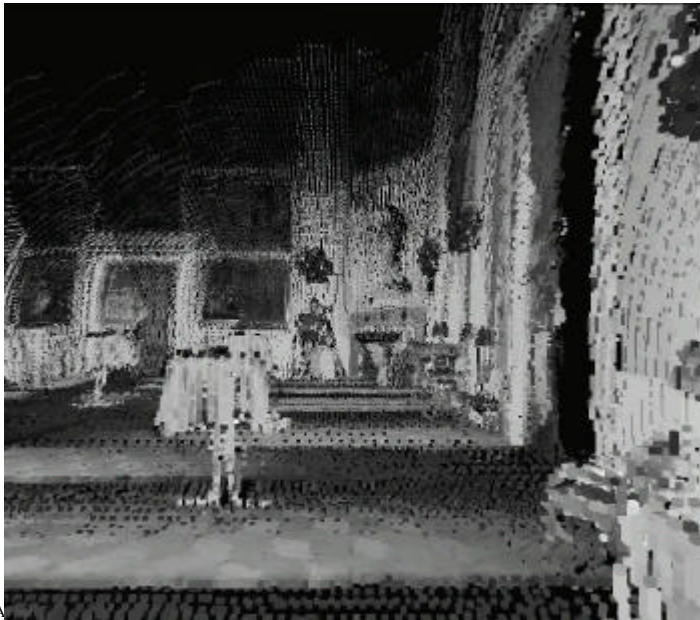
Kurt-2



Equipaggiato con laser finder 3D.
Estrazione di piani mediante approccio ad octree.



Kurt-2: esplorazione



Castello di
Birlinghoven



L'elicottero di USC

<http://homes.dsi.unimi.it/~borghese>



Cosa spinge l'evoluzione dei robot



Chip sempre più veloci (Moore law).

Sensori miniaturizzati.

Algoritmi "intelligenti".

Embedded networking devices.