

Corso di Percezione Robotica (PRo)

Modulo A. Introduzione all'Ingegneria Biomedica e alla Biorobotica

Prof.ssa Cecilia Laschi

Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa



Scuola Superiore
Sant'Anna
di Studi Universitari e di Perfezionamento

ARTS Lab

*Advanced Robotics Technology &
Systems Laboratory*



Corso di Laurea Specialistica in Informatica
Università di Pisa

Sommario della lezione



- Definizione di Ingegneria Biomedica o Bioingegneria
- Definizione di Biorobotica e sue relazioni con l'Ingegneria Biomedica
- Illustrazione dei vari domini applicativi della Biorobotica
- Lo schema comune di un sistema robotico tipico

L'ingegneria biomedica (o bioingegneria)



Applicazione di metodi e tecniche
quantitativi, propri dell'ingegneria, nella
comprensione, determinazione e risoluzione
di problematiche di carattere medico-fisico

Obiettivi della bioingegneria



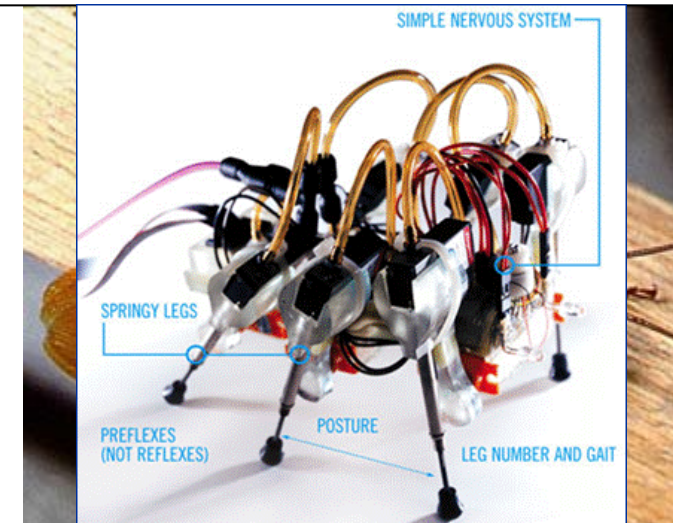
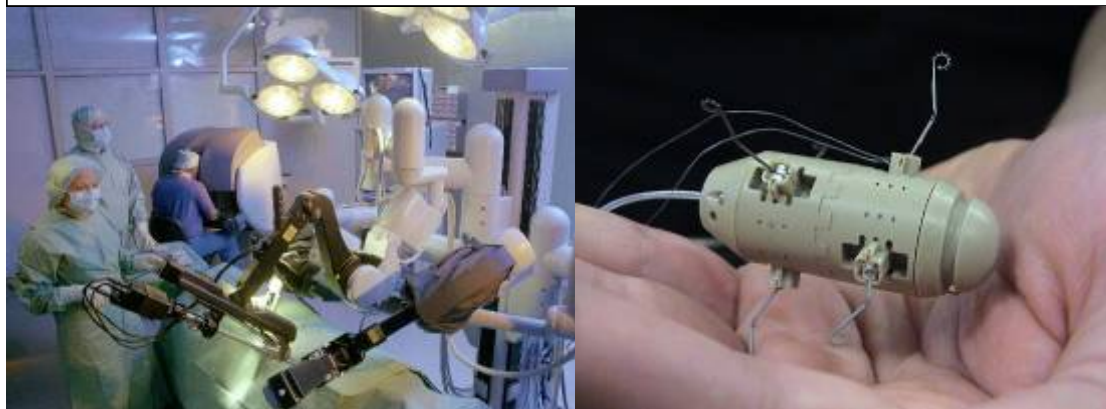
- Miglioramento delle conoscenze sul funzionamento dei sistemi biologici, attraverso:
 - modelli matematici
 - metodi di elaborazione delle informazioni
 - strumentazione
- Sviluppo di nuove metodologie ed apparati diagnostici, terapeutici e riabilitativi, di nuovi organi artificiali, nuovi dispositivi di supporto a funzioni alterate, nuovi ausili e dispositivi protesici per disabili

Biorobotica

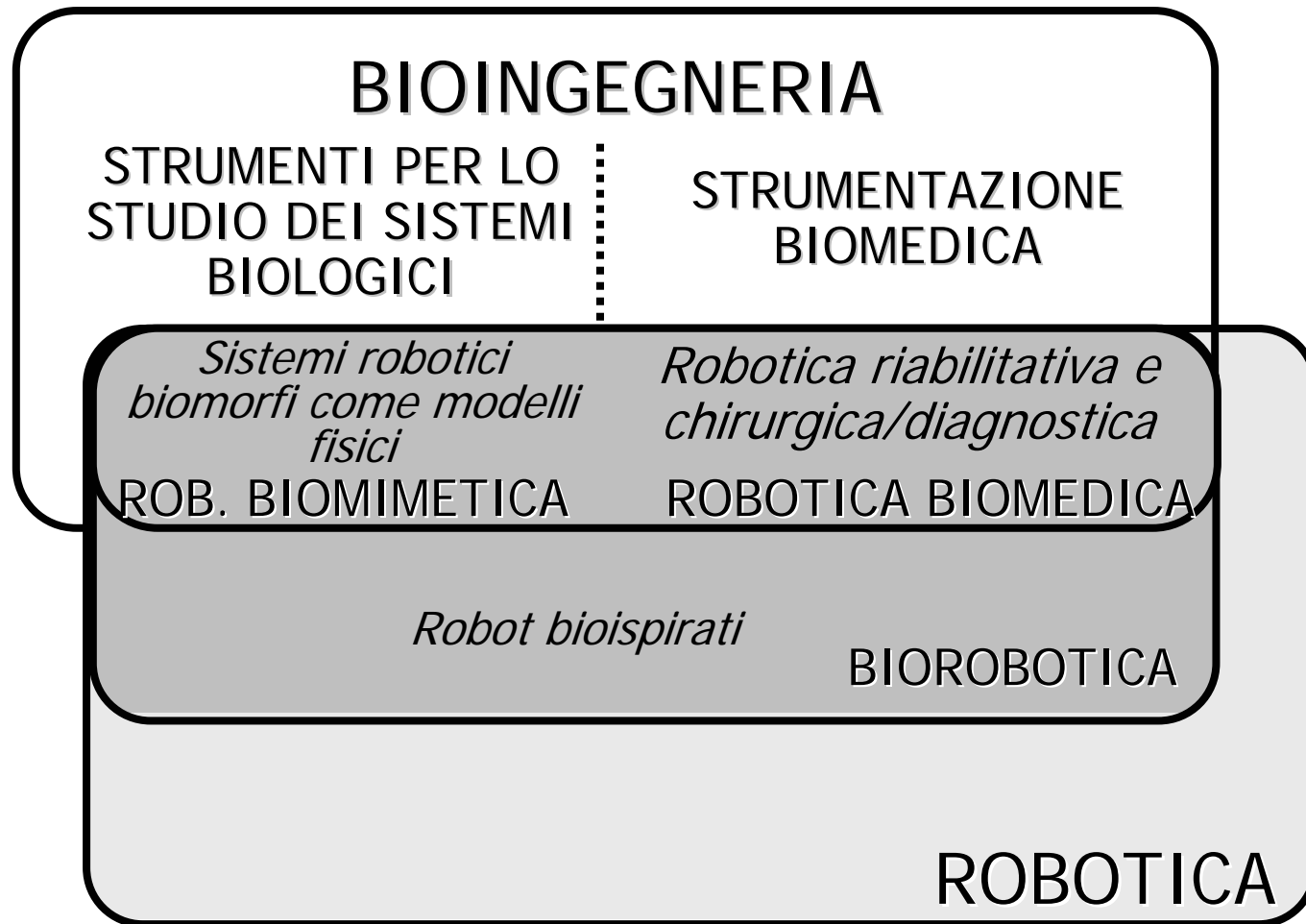
Studio dei sistemi biologici da un punto di vista "biomeccatronico"

Sviluppo di metodologie e tecnologie innovative per la progettazione e la realizzazione di macchine e sistemi **bioispirati e biomimetici** (ad es. umanoidi e animaloidi)

Sviluppo di dispositivi per **applicazioni biomediche** (ad es. chirurgia mini-invasiva e neuroriabilitazione)



Bioingegneria e biorobotica



Biorobotica e bioingegneria



- La bioingegneria costituisce un ambito di fondamentale importanza per lo sviluppo della biorobotica perché:
 - La medicina e la biologia costituiscono importanti settori applicativi per la robotica avanzata (robotica biomedica)
 - La robotica può contribuire alla comprensione degli esseri viventi (robotica biomimetica) e dei meccanismi neuroscientifici che presiedono alla coordinazione senso-motoria e alla sintesi dei comportamenti nell'uomo (neuro-robotica)

Robotica Biomedica



Applicazione della robotica in
ambito biomedico, come
supporto alla pratica clinica o
come strumento di ricerca

Robotica Biomimetica



Applicazione della robotica nello studio
di sistemi biologici

Uso di robot biomorfi come strumento
sperimentale e modello fisico nella
ricerca, principalmente in neuroscienze
(Neuro-Robotica)

Neuro-Robotica



- Le capacità sensoriali e reattive dell'uomo e dei sistemi biologici sono ancora in gran parte ineguagliate dai robot
- I modelli percettivi e di ragionamento dell'uomo costituiscono ancora oggi un ambito di ricerca aperto
- Lo studio dei meccanismi di elaborazione sensoriale e di sintesi del comportamento (coordinazione senso-motoria) nell'uomo e nei sistemi biologici è fondamentale sia per il progresso della robotica che per la comprensione del funzionamento del cervello umano (neuroscienze)

Embodiment



- Non può esistere una macchina con un'intelligenza e un comportamento simili all'uomo che non sia dotata di un sistema sensoriale con prestazioni simili a quelle umane

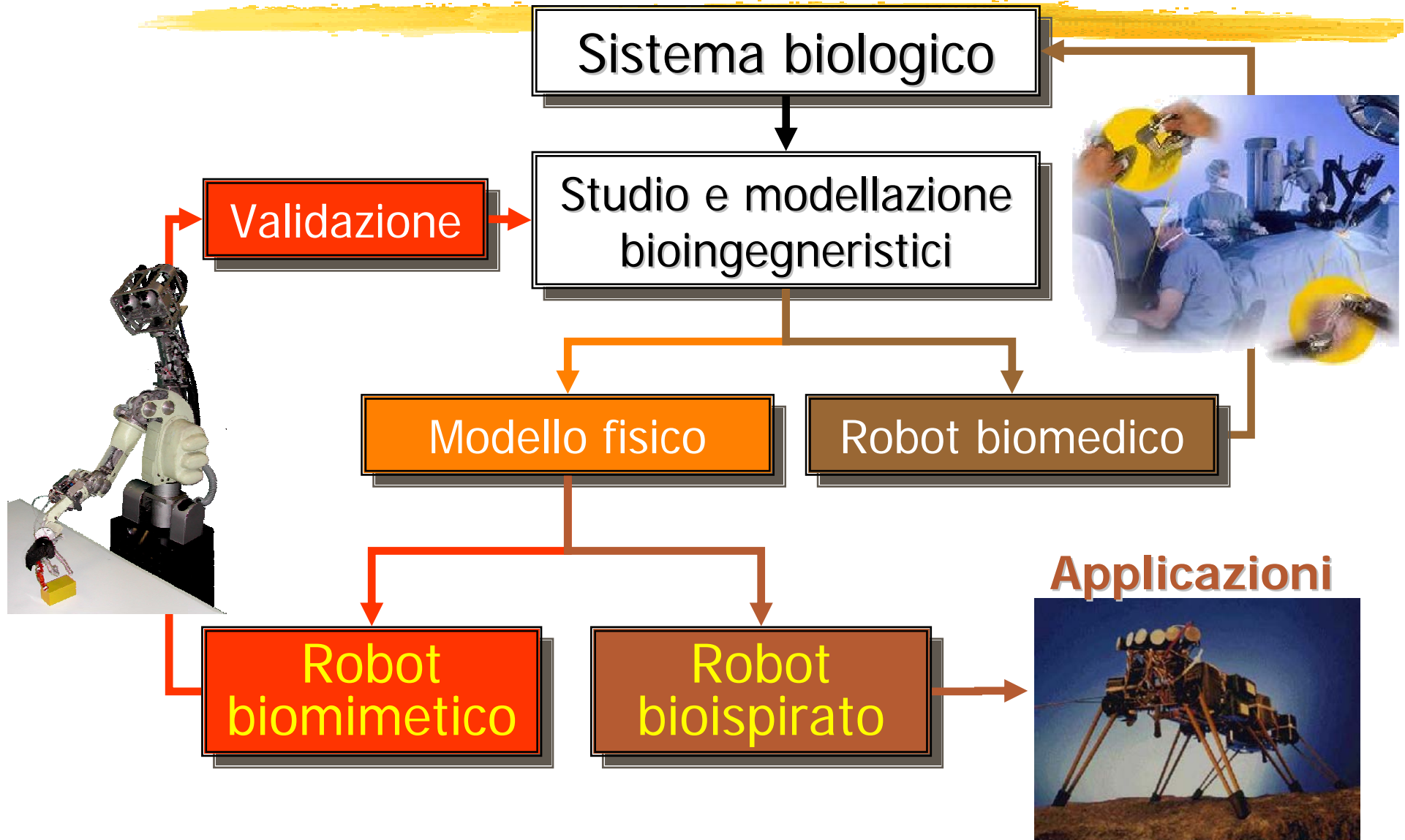
Rodney A. Brooks, 1998

Direttore Artificial Intelligence Laboratory

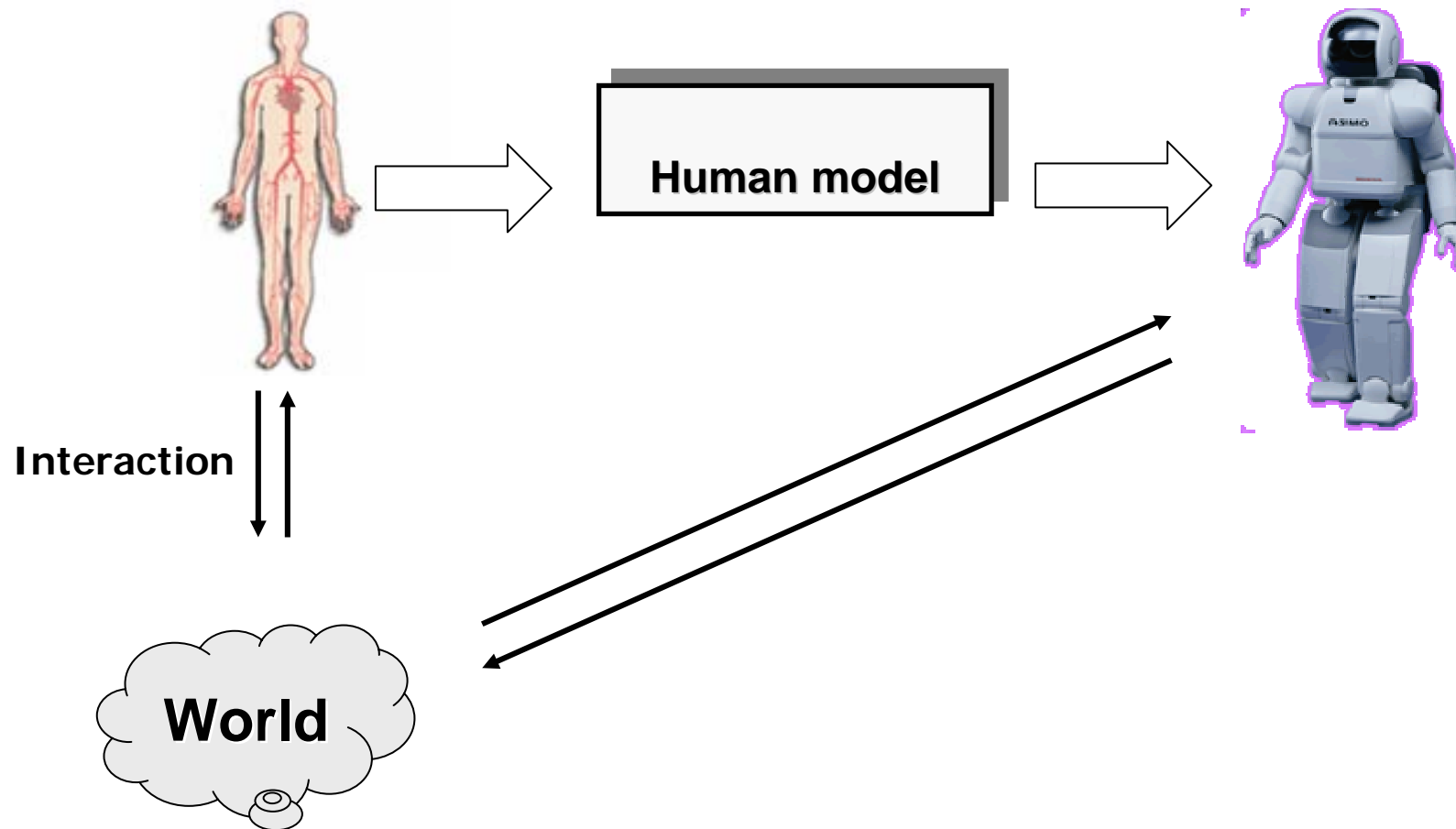
MIT - Massachusetts Institute of Technology

Boston, USA

Robotica biomedica e biomimetica



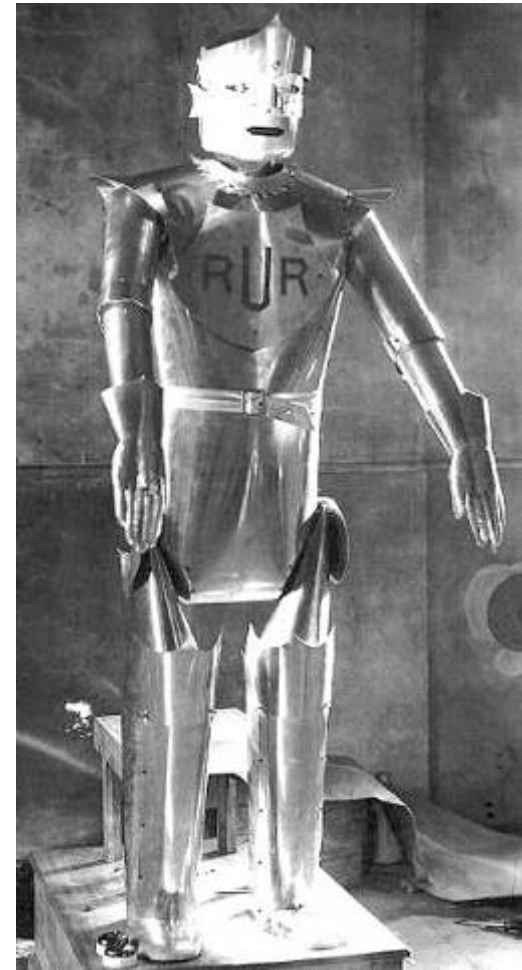
Biorobotics vs. simulations and animal models



Etimologia del termine “robot”

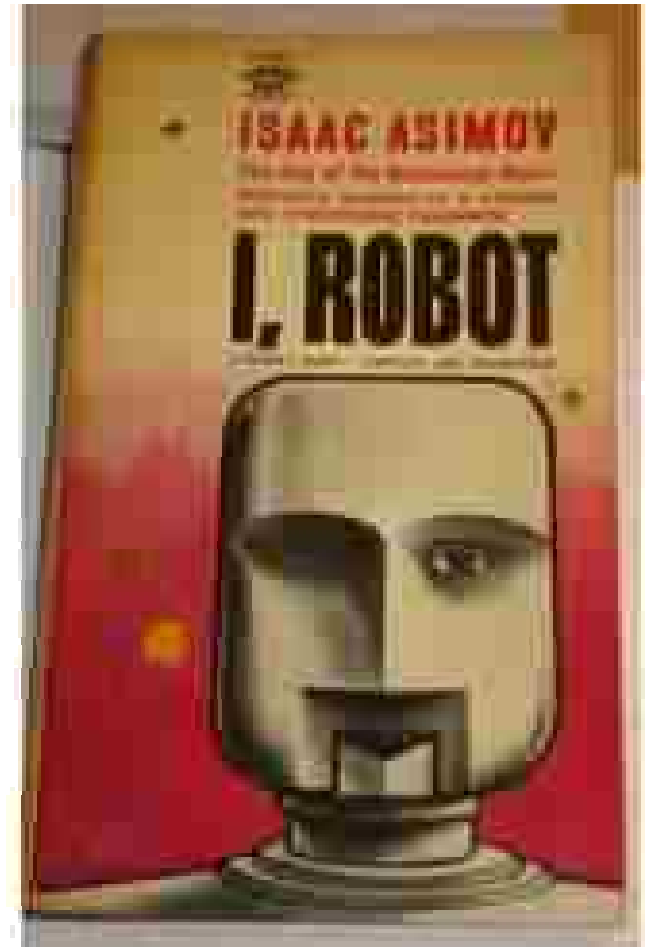
Il termine **robot** fu usato per la prima volta dallo scrittore ceco **Karel Čapek**, nel **1920** nel suo romanzo *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)*. Deriva dal termine **ceco robot**, che significa "**lavoro pesante**" o "**lavoro forzato**".

In realtà il vero inventore della parola *robot* fu il fratello di Karl Čapek, **Josef**, anche lui scrittore e pittore cubista, il quale utilizzò la parola "*automat*", (automa), in un suo racconto del **1917**, **Opilec** ("L'ubriaccone"). Il termine greco **autòmaton** significa "che si muove da se".



La robotica

- Il termine "**robotica**" venne usato per la prima volta (su carta stampata) nel racconto di Isaac Asimov intitolato *Circolo vizioso* (*Runaround*, 1942), presente nella sua famosa raccolta *Io, Robot*.
- In esso, egli citava le *tre regole della robotica*, che in seguito divennero le **Tre leggi della robotica**.





Le tre leggi della robotica di Asimov

- Un robot non può recare danno a un essere umano, né può permettere che, a causa del suo mancato intervento, un essere umano riceva danno.
- Un robot deve obbedire agli ordini impartiti dagli esseri umani, purché tali ordini non contravvengano alla Prima Legge.
- Un robot deve proteggere la propria esistenza, purché questa autodifesa non contrasti con la Prima e la Seconda Legge.

Definizioni di Robotica



- A robot is a re-programmable, multi-functional, manipulator designed to move material, parts, or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a task
- *Un robot è un manipolatore multifunzionale riprogrammabile progettato per muovere materiali, componenti, o dispositivi specializzati, attraverso movimenti variabili programmati per lo svolgimento del compito*

Robotics Industry Association (~ 1980)

- Robotics is the intelligent connection of perception to action
- *Robotica è la connessione intelligente della percezione all'azione*

Michael Brady (~1985)

- A robot is a machine able to extract information from its environment and use knowledge about its world to move safely in a meaningful and purposeful manner
- *Un robot è una macchina in grado di estrarre informazioni dall'ambiente e di usare la conoscenza sul mondo per muoversi in maniera sicura, significativa e intenzionale*

Maja Mataric (~ 1990)

- Robotics is the science and technology of the design of **mechatronic** systems capable of generating and controlling **motion** and **force**
- *Robotica è la scienza e tecnologia della progettazione di sistemi **meccatronici** capaci di generare e controllare **movimento** e forza*

Paolo Dario (~ 2000)





Una definizione più generale di robot

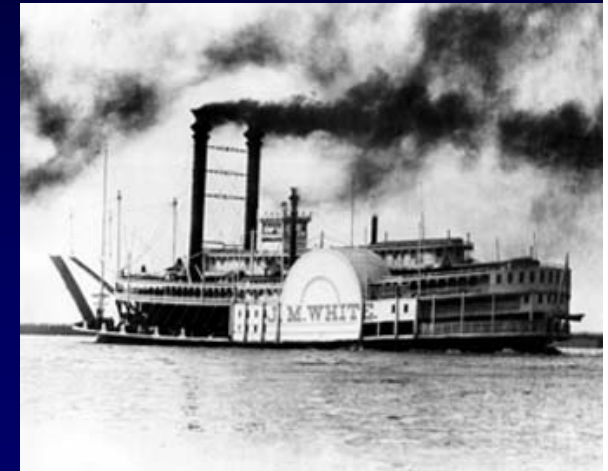
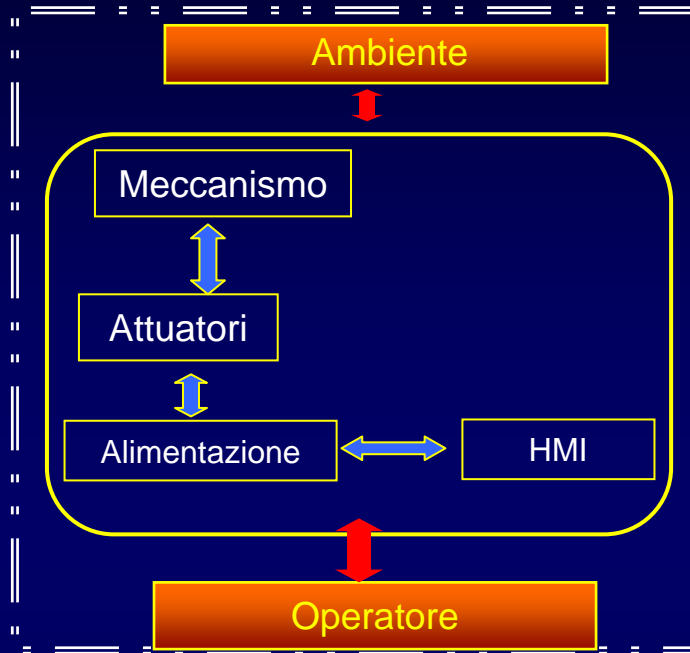
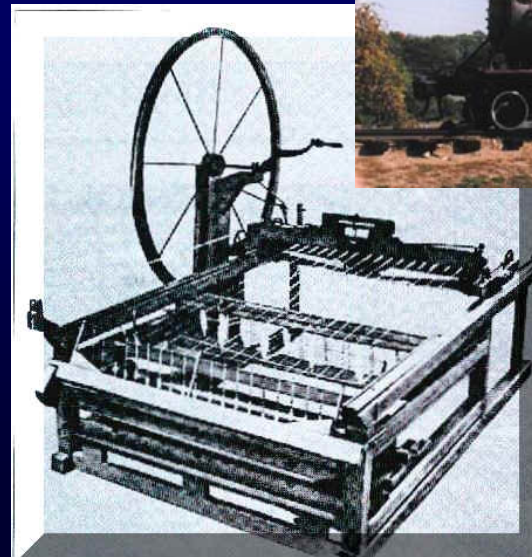
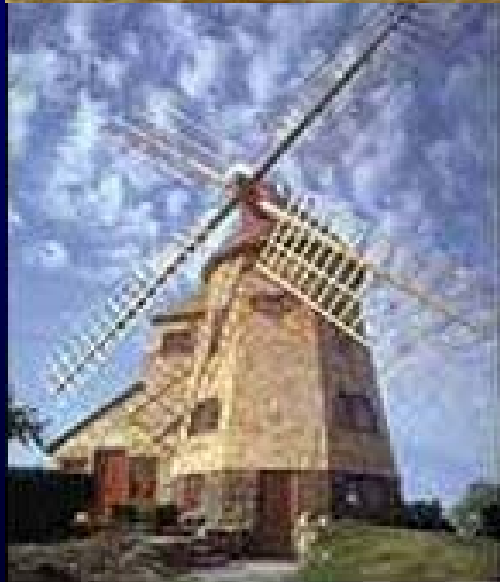
Un robot è una **macchina** che raccoglie informazioni dall'ambiente circostante (**sente**) e le utilizza per pianificare determinati comportamenti (**“pensa”**) che le permettono di compiere delle azioni nell'ambiente in cui si trova (**agisce**)

George Bekey, 2005

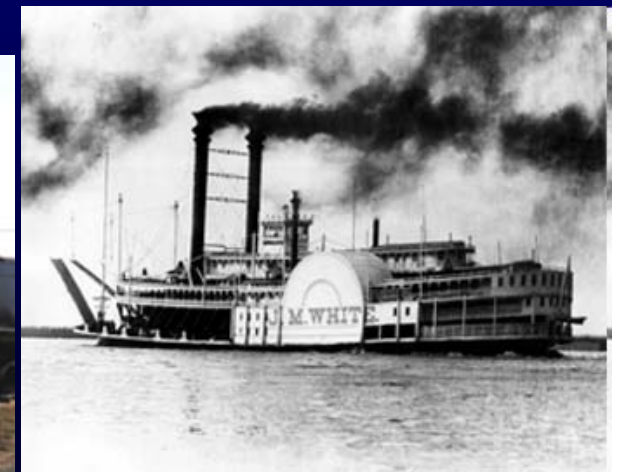
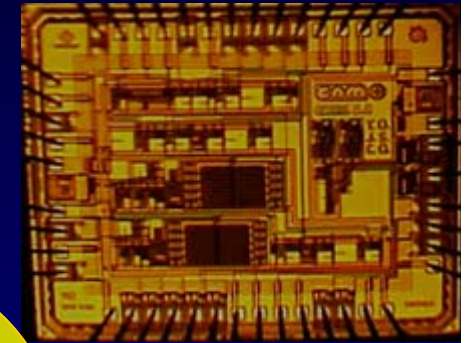
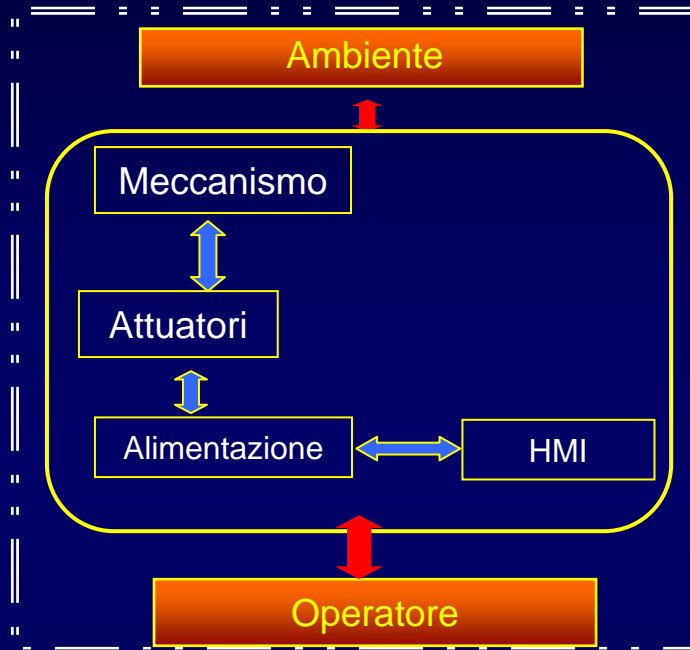
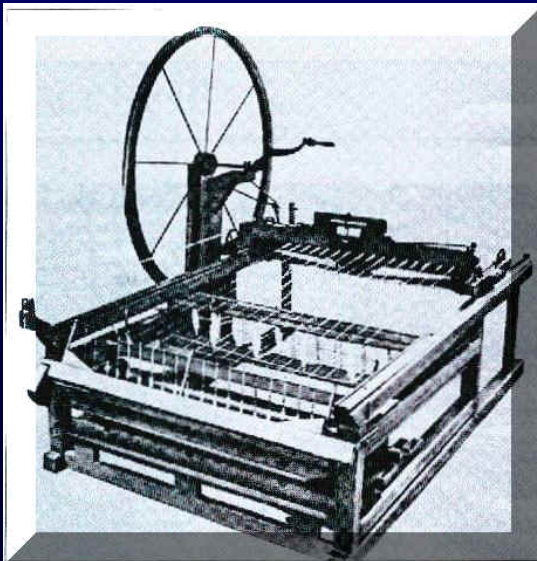


Sente, pensa e agisce...
Ma come?

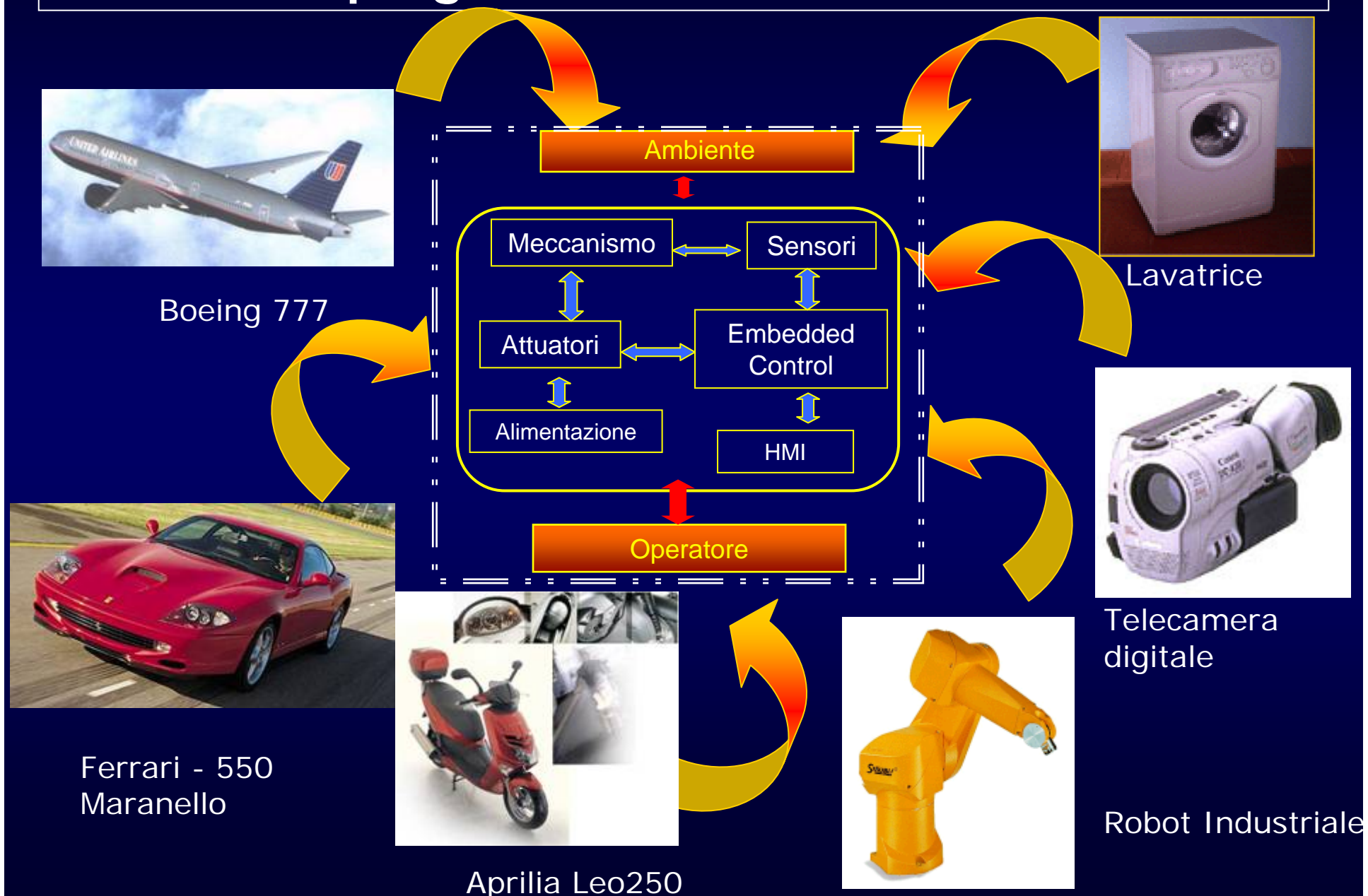
Macchine tradizionali (pre-meccatroniche)



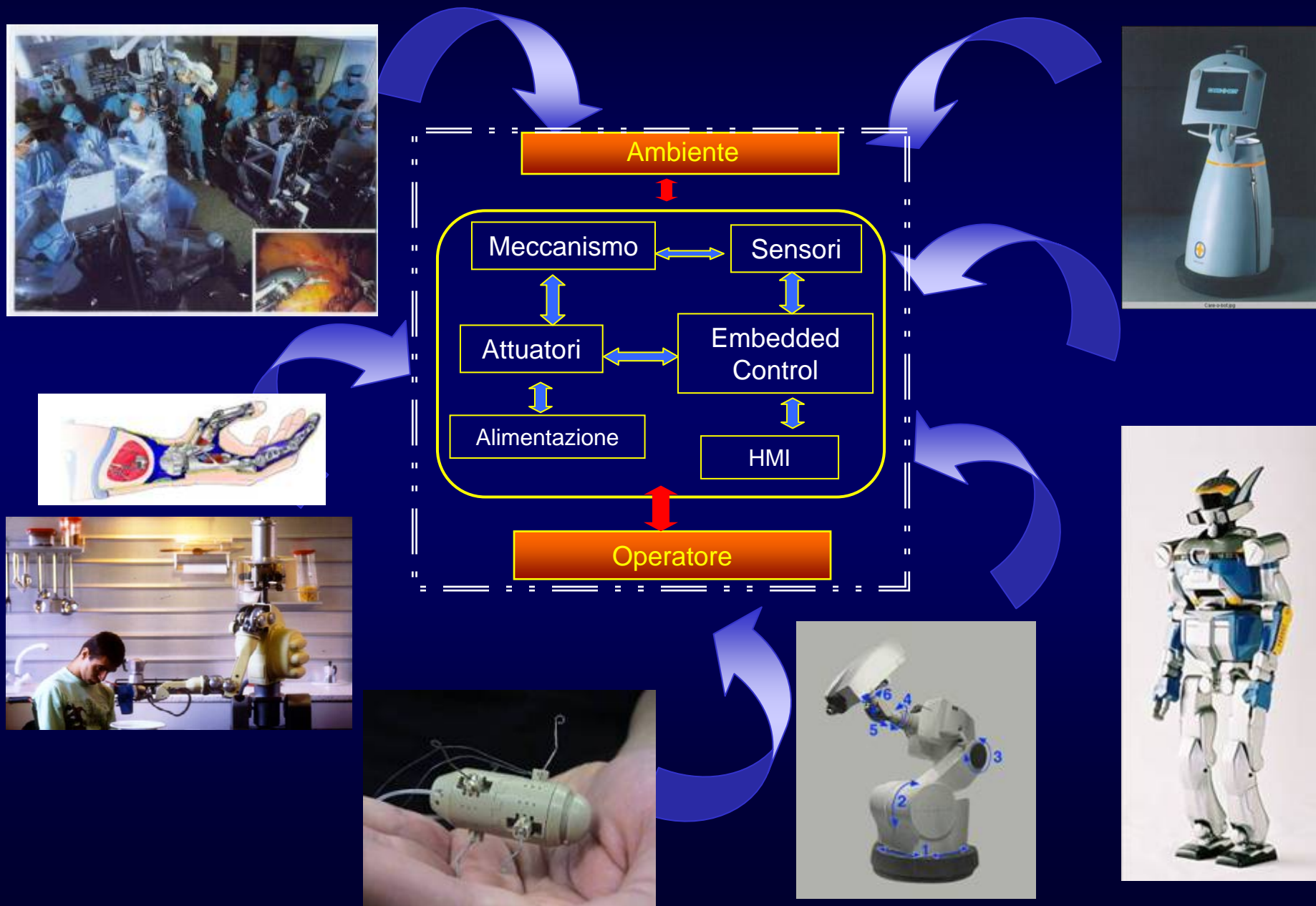
L'avvento della microelettronica: un cambio di paradigma nella progettazione di macchine



Meccatronica: il paradigma moderno per la progettazione di macchine



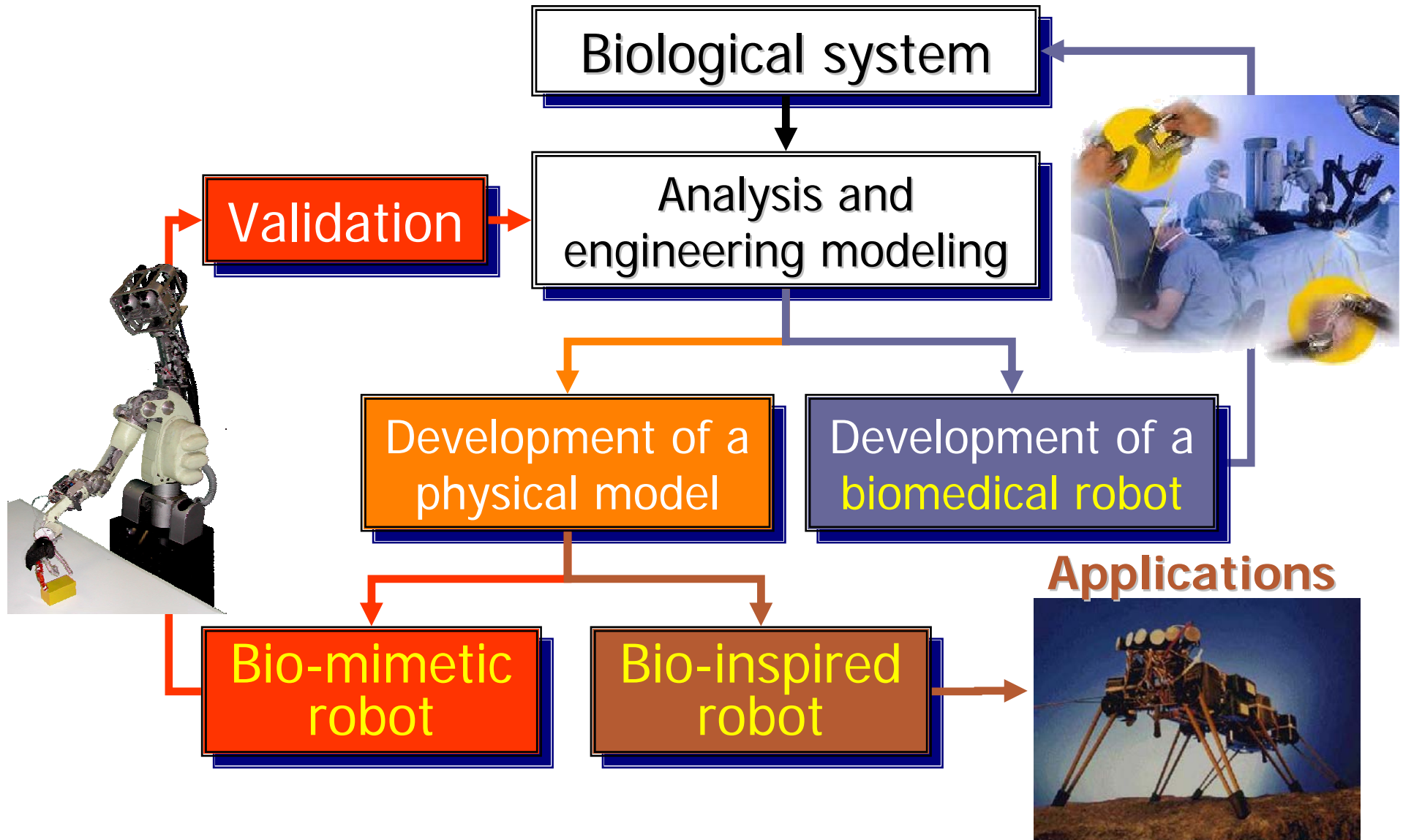
La meccatronica: il paradigma della progettazione di robot



Progettazione meccatronica

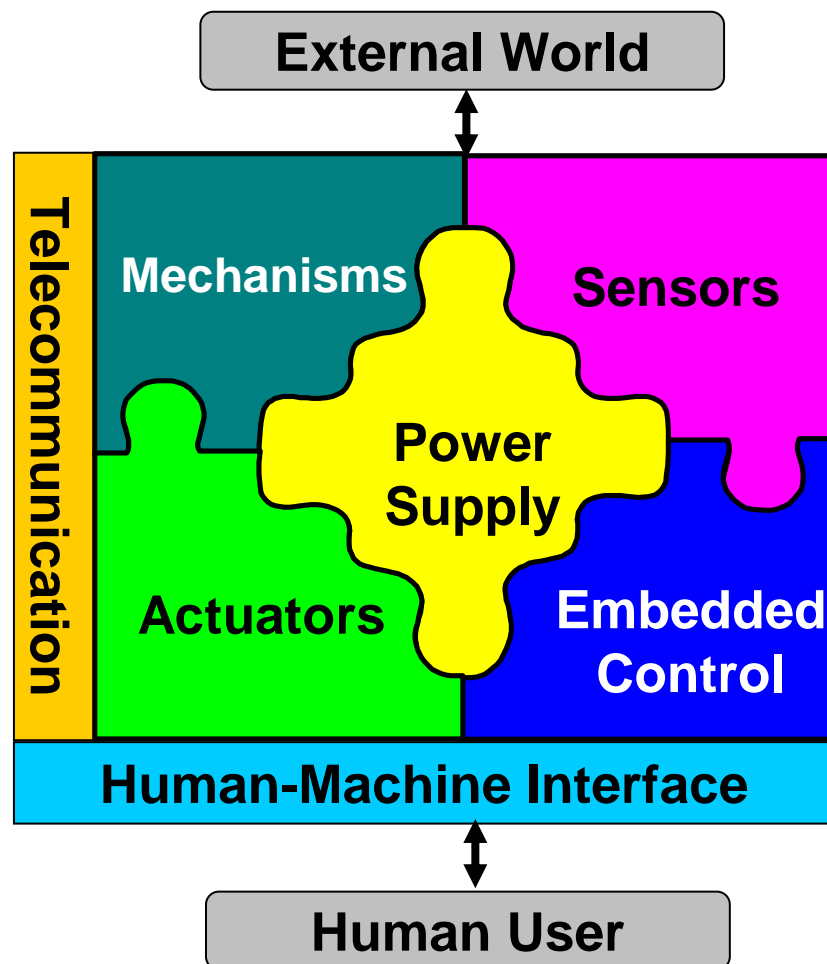
- Progettazione integrata della diverse componenti meccaniche, elettroniche e informatiche del sistema

Biomechatronic design

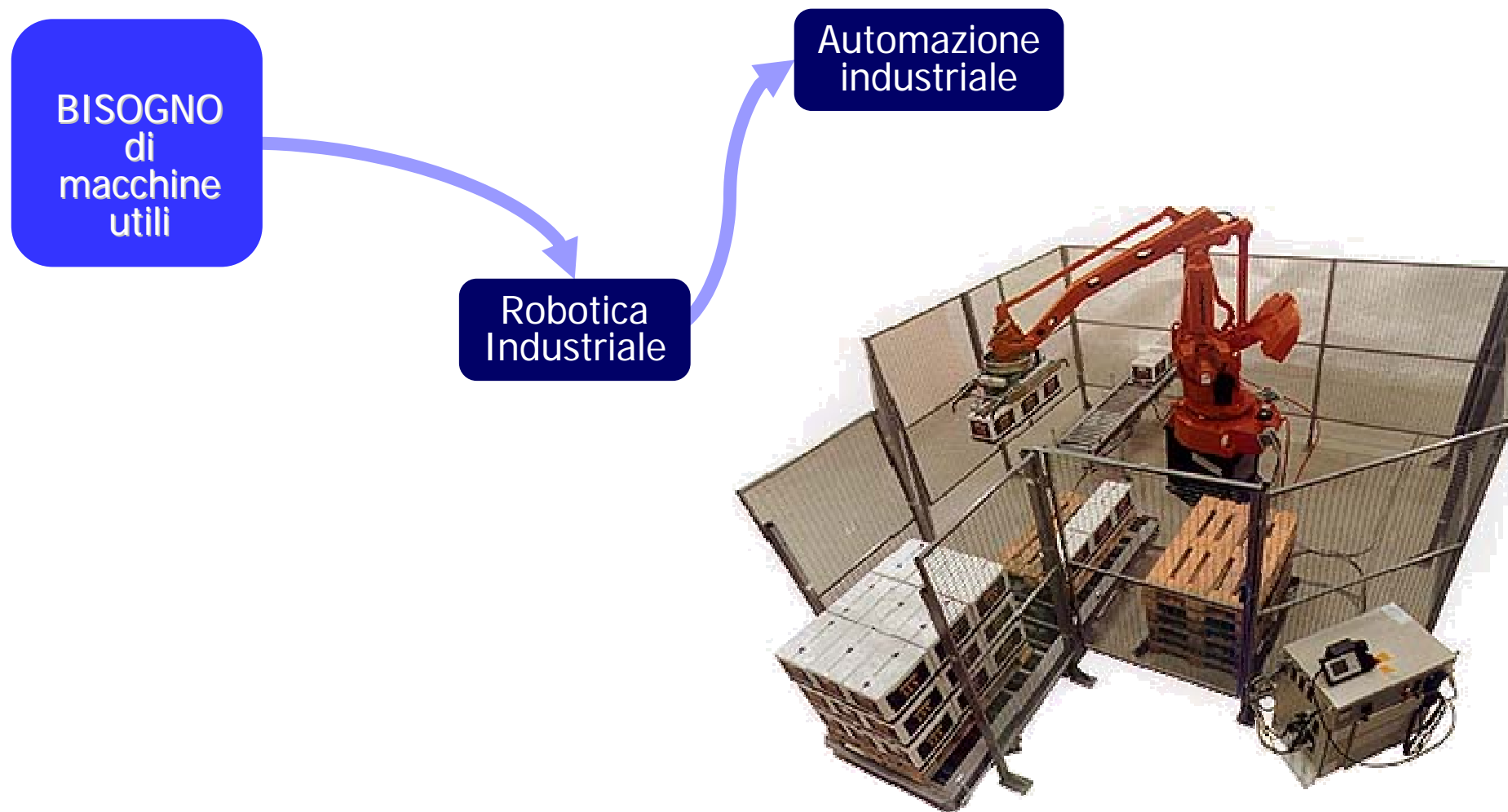


Biomechatronic design

Joint design of the different components of the system



Evoluzione della Robotica



Scenario robotico industriale

Ambiente
strutturato sui
bisogni del robot

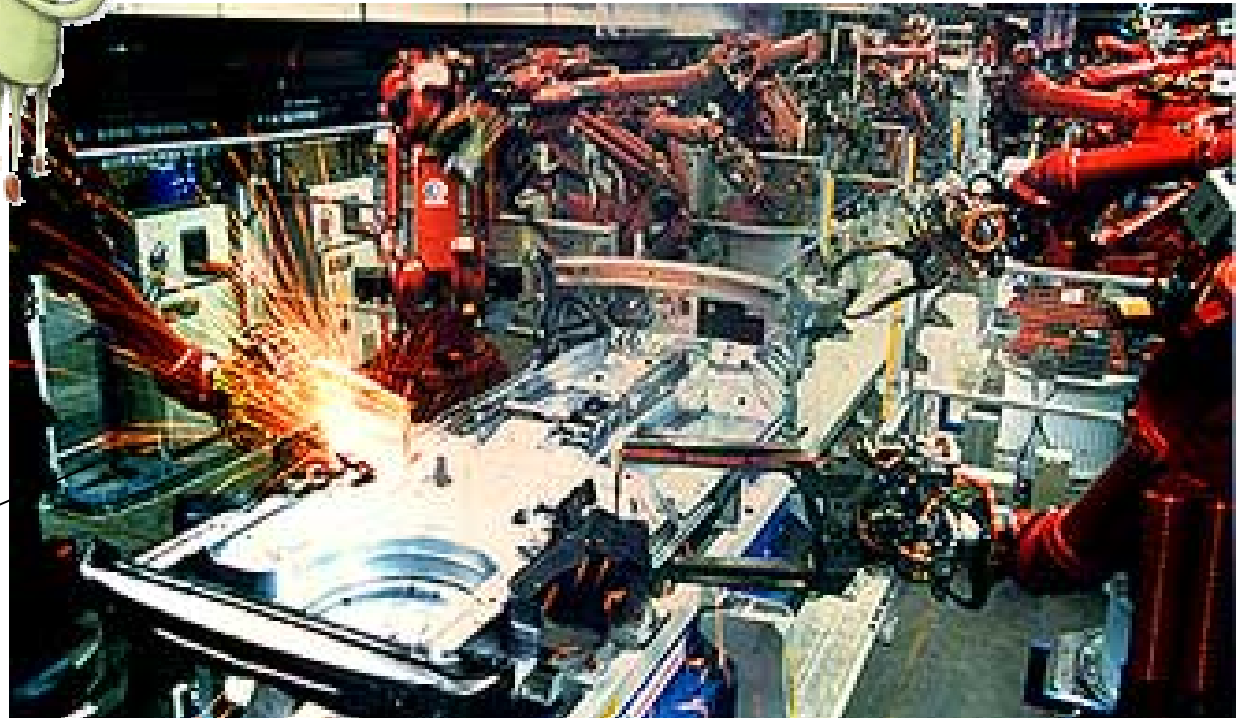
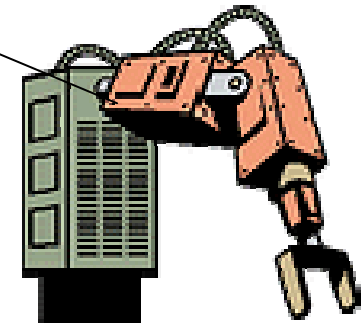
Manipolatori ad elevate
prestazioni in termini di
accuratezza, ripetibilità,
velocità, robustezza

Procedure ben
definite ripetitive

Operatori
esperti
(formati
all'uso)

Posizioni
predefinite degli
oggetti da
manipolare

Presenza umana
umana nell'ambiente di
lavoro ben delimitata

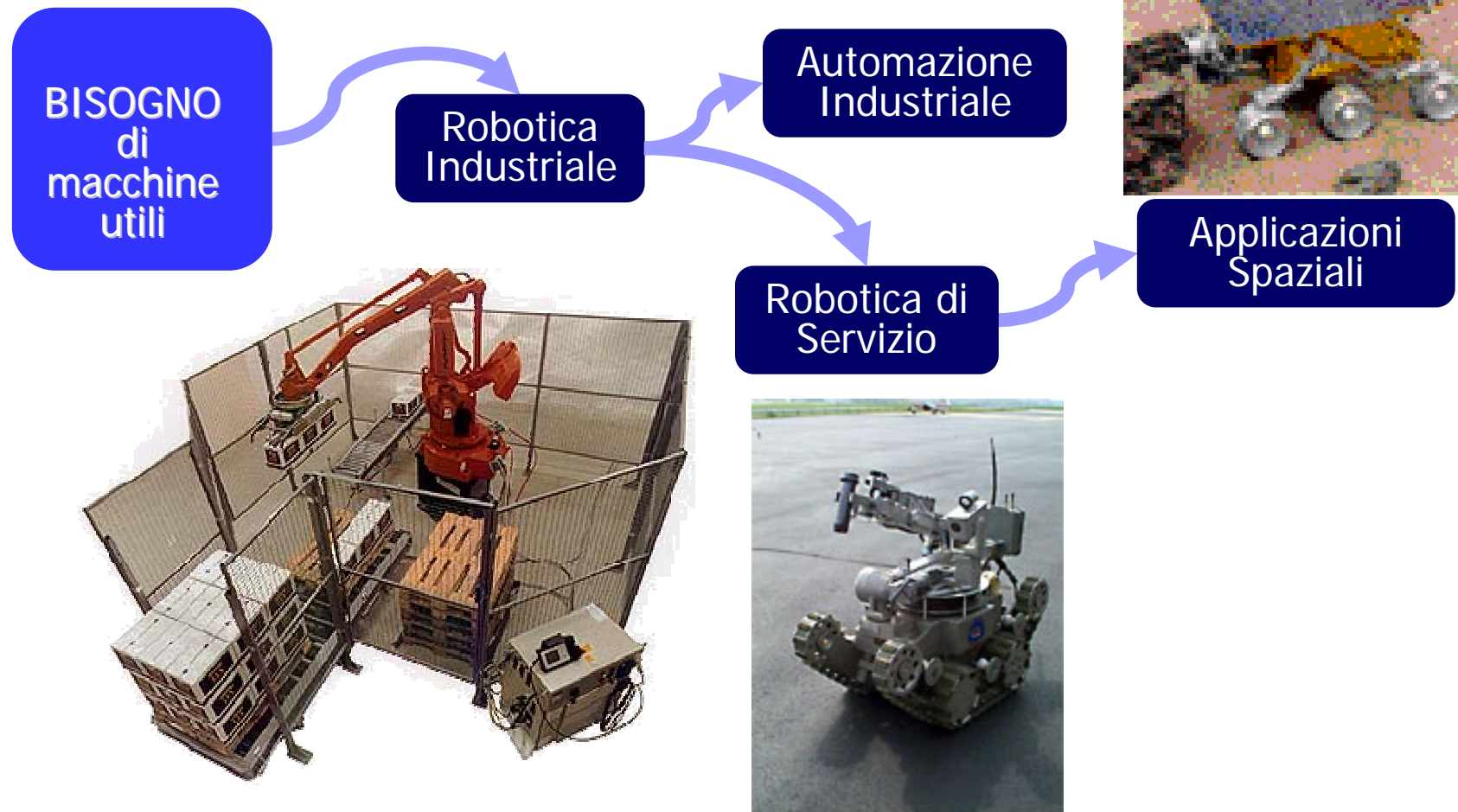


Analisi comparativa delle prestazioni dell'Uomo e del robot

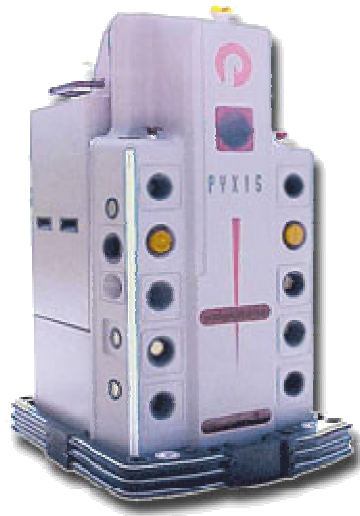
	Vantaggi	Svantaggi
Macchina (Robot)	<ul style="list-style-type: none"> • Rilevamento accurato di quantità fisiche su un range ampio • Rilevamento di quantità fisiche, come le onde elettromagnetiche, che l'uomo non può rilevare • Velocità, accuratezza, potenza e resistenza maggiori • Memorizzazione accurata • Adatta allo svolgimento di task monotoni e ripetitivi • Affidabilità nello svolgimento di uno specifico compito • Possibilità di operare in ambienti pericolosi 	<ul style="list-style-type: none"> • Mancanza di abilità e flessibilità di pensiero • Limitati mezzi di comunicazione con l'uomo • Incapacità di reagire ad eventi imprevisti • Scarsa capacità di estrazione di caratteristiche e riconoscimento • Minore numero di gradi di libertà
Uomo	<ul style="list-style-type: none"> • Più alto livello di abilità cognitiva • Maggiore flessibilità di pensiero • Superiore nell'elaborazione cognitiva dell'informazione, come l'estrazione di caratteristiche ed il riconoscimento • Maggior numero di gradi di libertà nella braccia e nelle mani e capacità di svolgere movimenti complessi e accurati • Facile comunicazione reciproca (capacità di comunicare anche senza il supporto di un linguaggio) • Capacità di rilevare stimoli minimi e le loro variazioni • Superiore nell'intuizione 	<ul style="list-style-type: none"> • Debolezza nei compiti ripetitivi, monotoni e di lunga durata • Mancanza di resistenza • Inferiore nell'accuratezza e nella velocità • L'affidabilità dipende dagli stati mentali, dalla motivazione, dal livello di attenzione e da fattori fisiologici e psicologici • È sicuro di commettere errori • L'abilità di rilevare quantità fisiche è variabile • Non può operare intuitivamente • La memoria è inaccurata

[A. Murata, 2000]

Evoluzione della Robotica



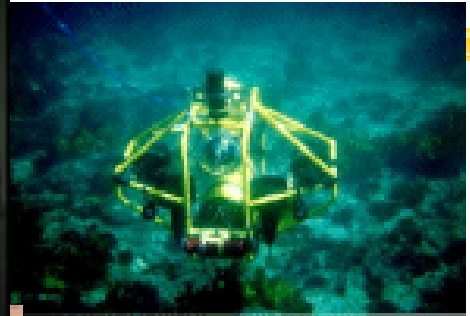
I robot fuori dalle fabbriche...



Servizi



Photo: Center for Robot-Assisted Search and Rescue



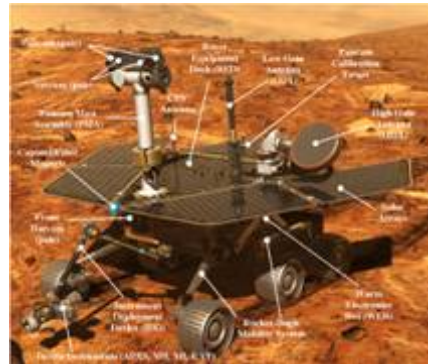
Ambienti
ostili



- Condivisione dello spazio di lavoro tra uomo e robot
- Maggiori capacità percettive
- Comportamento reattivo

Esplorazioni spaziali

- Spirit, Opportunity (2003) e il Robonauta

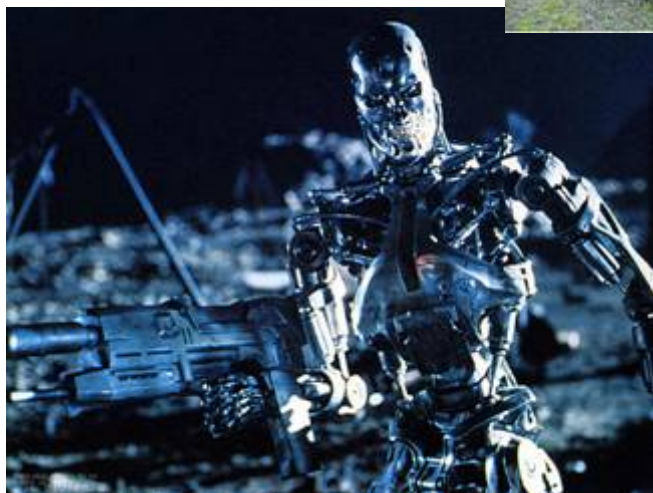
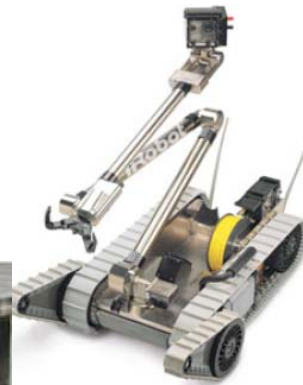


imu_op_naut1.avi

Robot sottomarini



Robot da Guerra



Applicazioni domestiche



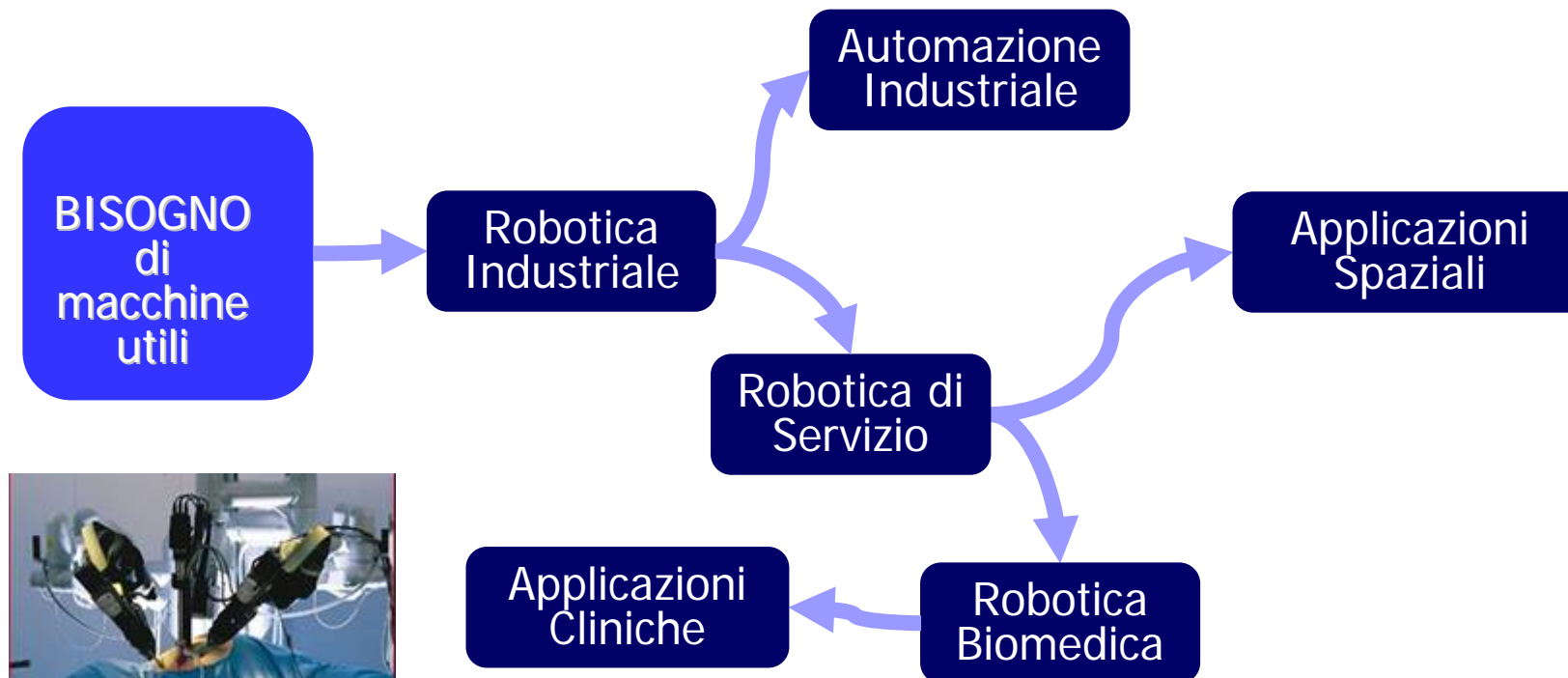
4 cleaning methods in 1 pass



Robot per intrattenimento e edutainment



Evoluzione della robotica





Robotica in chirurgia

Da Vinci System, Intuitive Surgical Inc.



- Master-slave manipulator equipped with 2 articulated joints at the tip of the surgical instruments allowing 7 degrees of freedom
- Mimics the movements of surgeon's wrist and fingers in the abdominal or thoracic cavity

The Evolution of Surgery

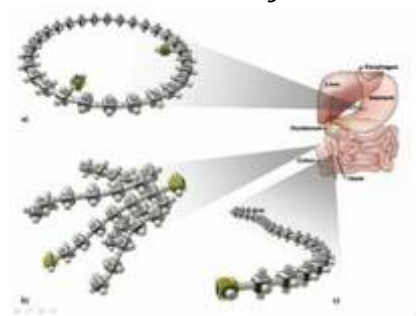
TRADITIONAL SURGERY



MINIMALLY INVASIVE SURGERY



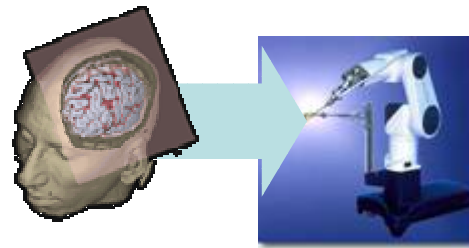
Da Vinci CAS system



ENDOLUMINAL SURGERY

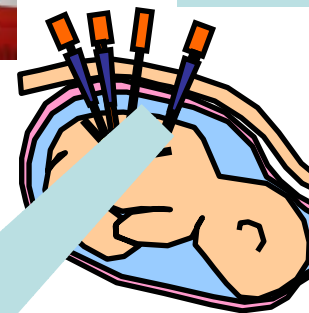


*Endoscopic capsules
Reconfigurable
surgical
systems*

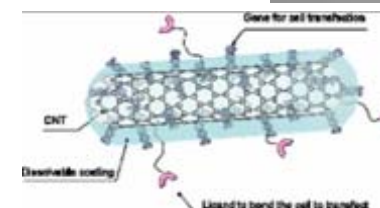
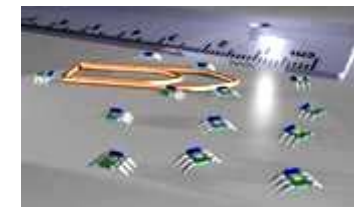


*Micro-
endoscope
for spinal
cord*

FETAL SURGERY



CELL SURGERY



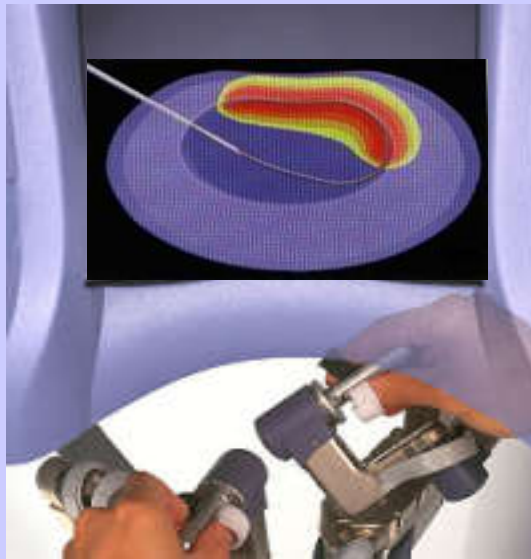
*Artificial virus
for cell therapy*



*Force-feedback
scissor for fetal
surgery*



A system for spinal endoscopy



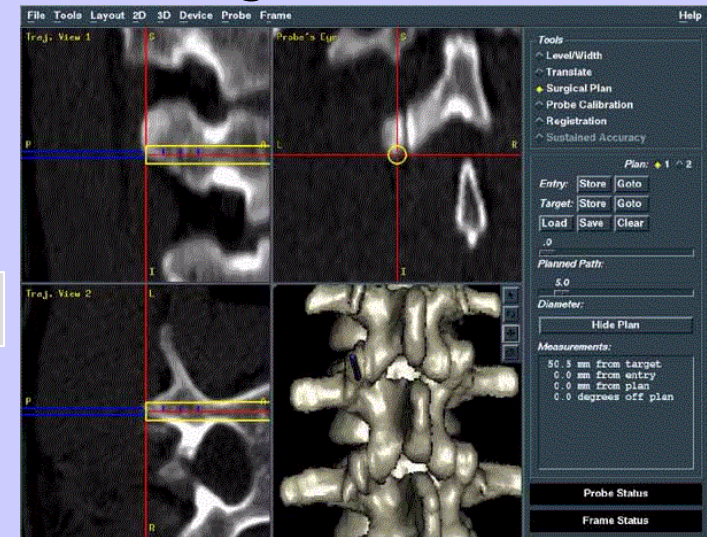
Human Machine Interface



Integrated Tool

Mechatronic Endoscope

Cognitive Unit



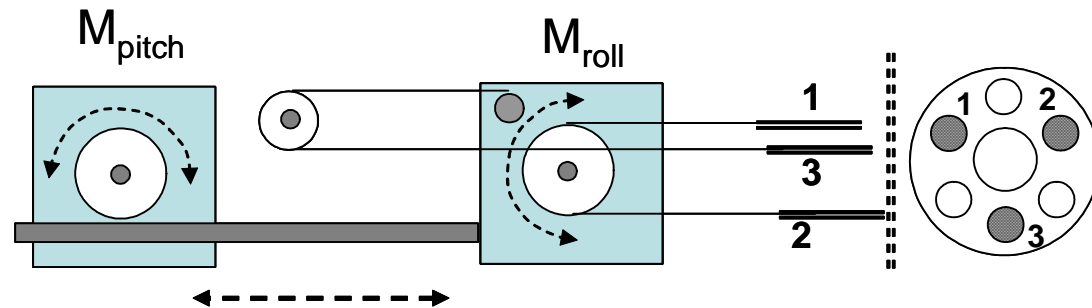
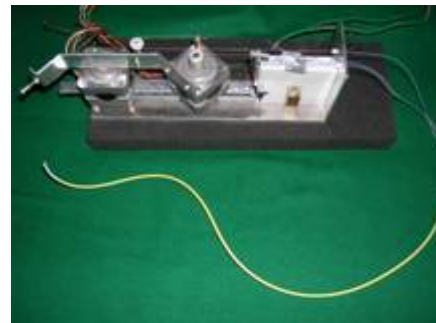
Patient
(with localization
sensors)

The MiNOSC robotic endoscopic platform

The robot-assisted
endoscopic platform is set
in the operating room.



The motor unit and the steerable catheter tip



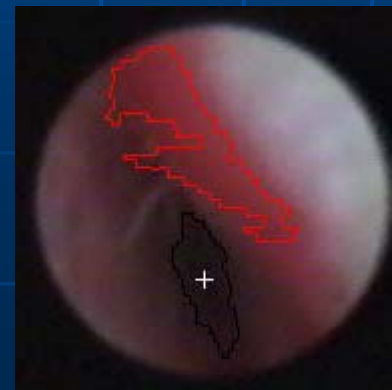
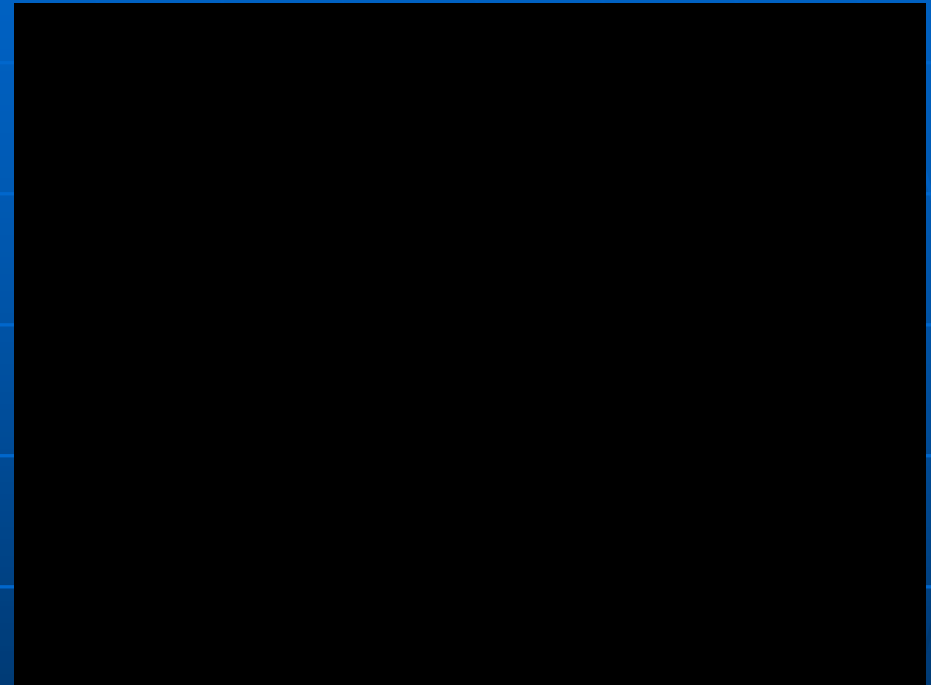
Schematic view of the 2 DoF motor unit; on the right: section
of the catheter; the dotted channels are used by the cables.



Segmentazione delle immagini endoscopiche

■ Risultati:

- L'algoritmo di segmentazione riesce sempre ad isolare correttamente le regioni lumen le quali non vengono mai sovradimensionate
- Le vene vengono riconosciute correttamente
- I nervi vengono isolati correttamente anche se esistono possibili interpretazioni sbagliate di bolle d'aria con riflessi molto luminosi
- L'impiego del software su filmati di endoscopia su animale hanno evidenziato le capacità dell'algoritmo di essere impiegato in applicazioni in tempo reale



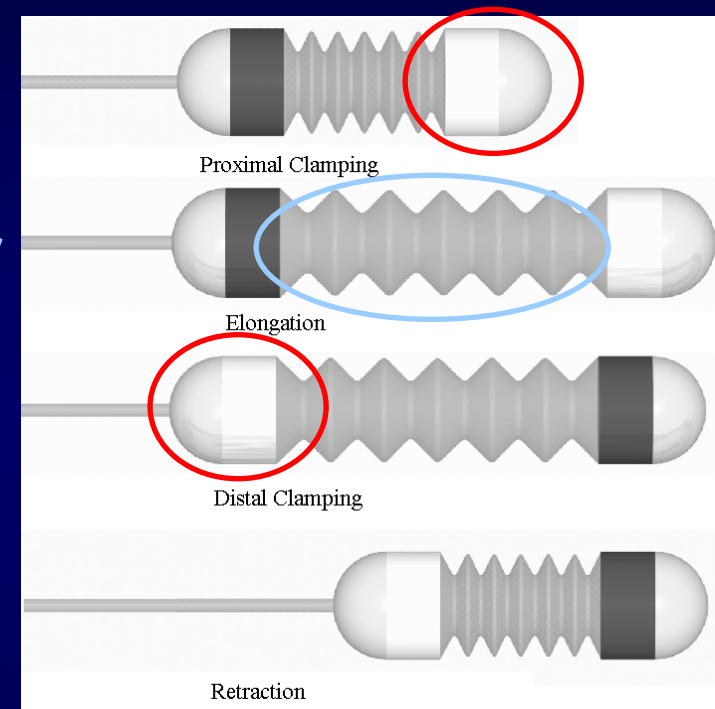
“Inchworm” locomotion



Distal clamber

Central elongator

Proximal clamber



Typical colonoscopy prototype

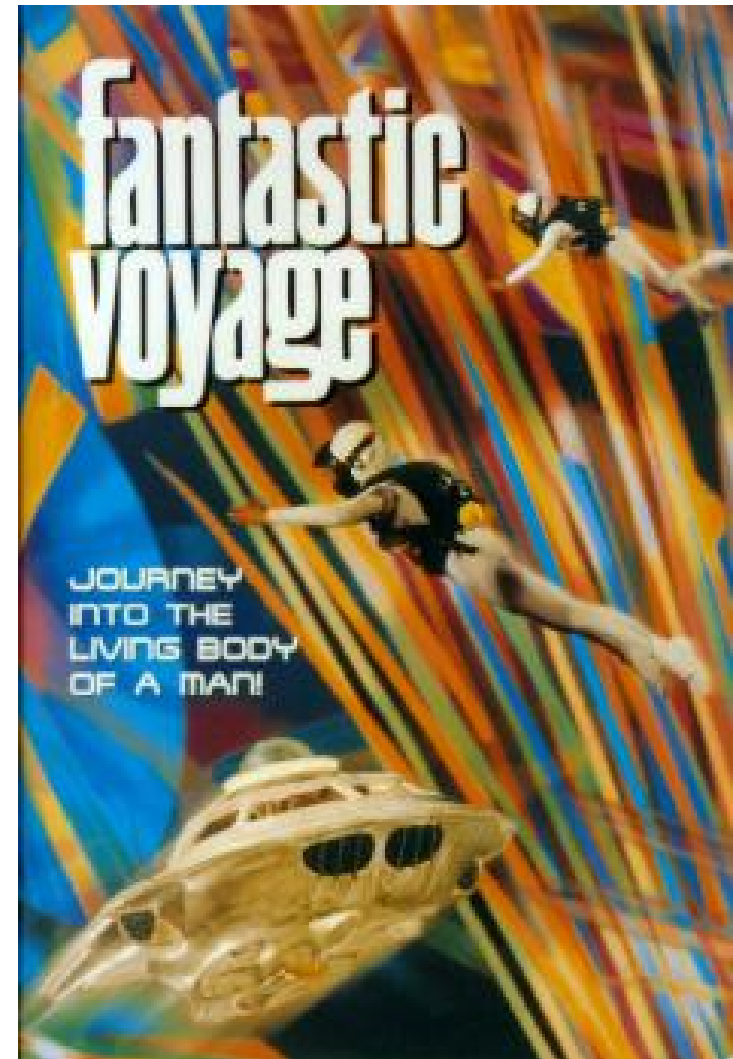
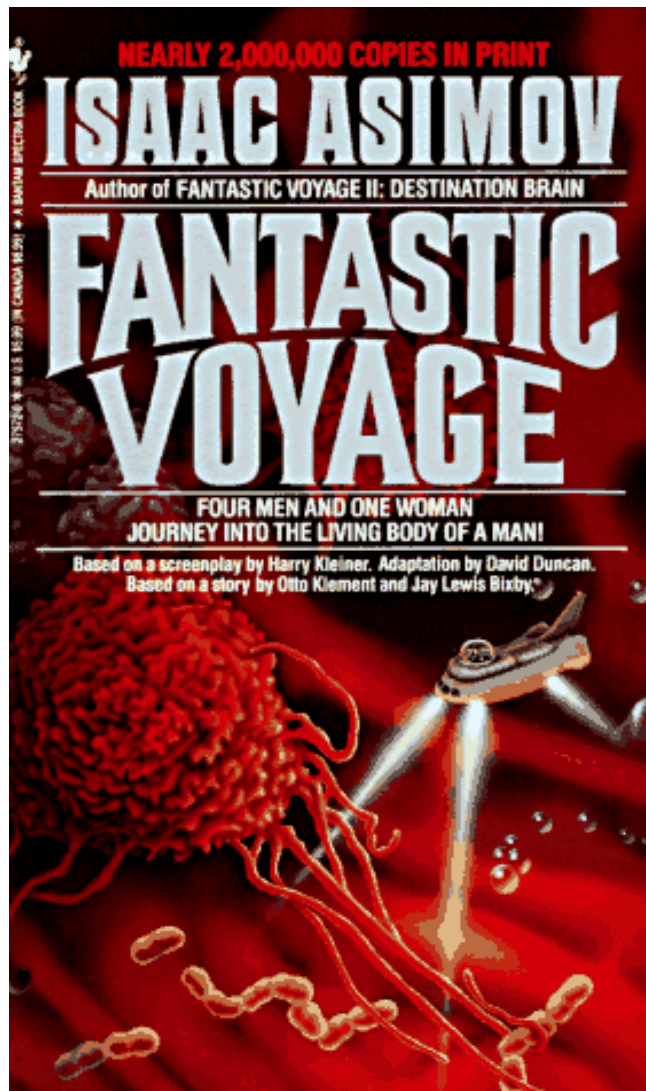
Diameter : 24 mm

Retracted Length : 115 mm

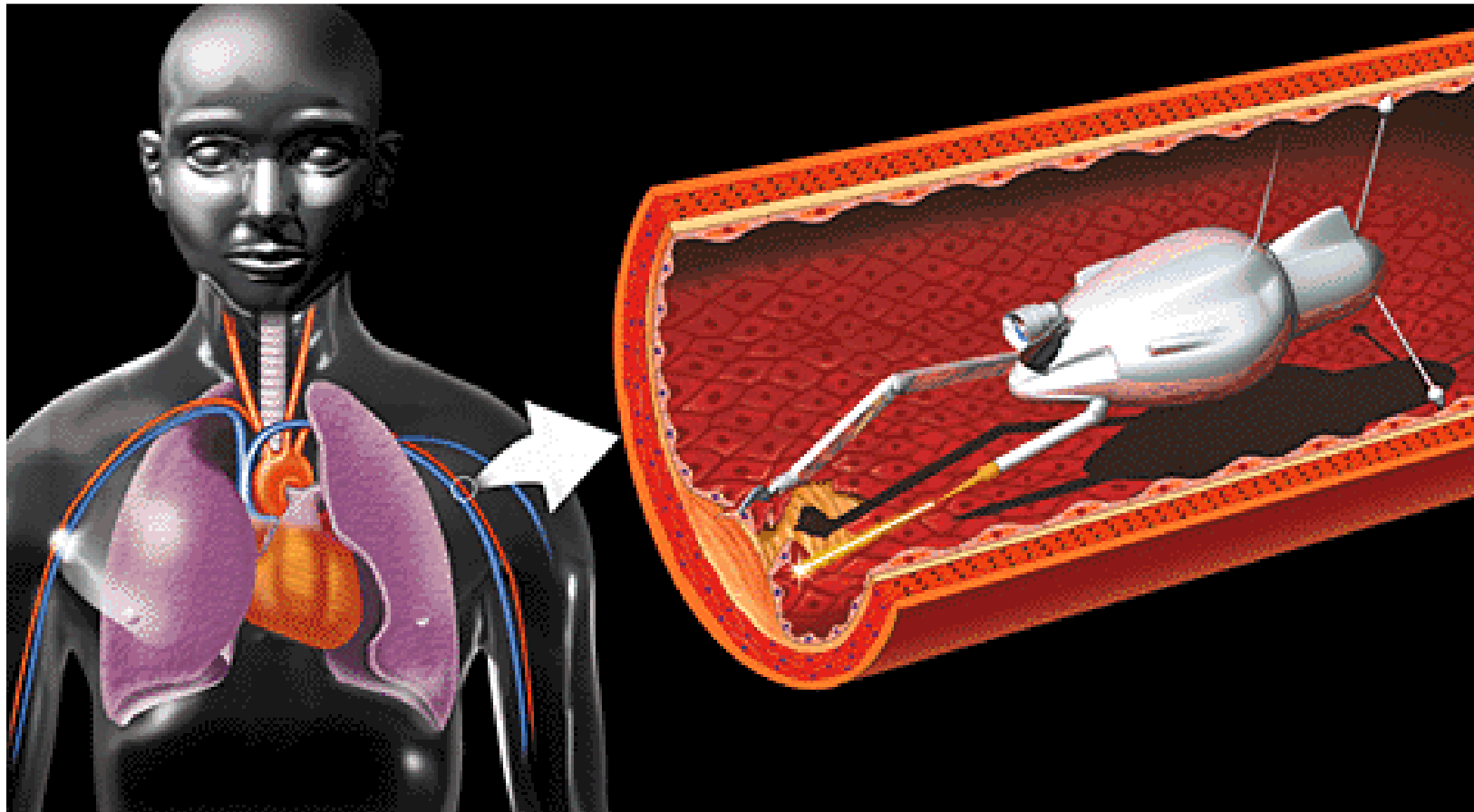
Elongated Length : 195 mm

Stroke: 80 mm

Fantascienza...?



...o sogno ingegneristico?



Una capsula robotica per esplorare il corpo umano



Scuola Superiore Sant'Anna,
Pisa

Microrobot riconfigurabili per l'esplorazione del corpo umano



**Scuola Superiore Sant'Anna,
Pisa**



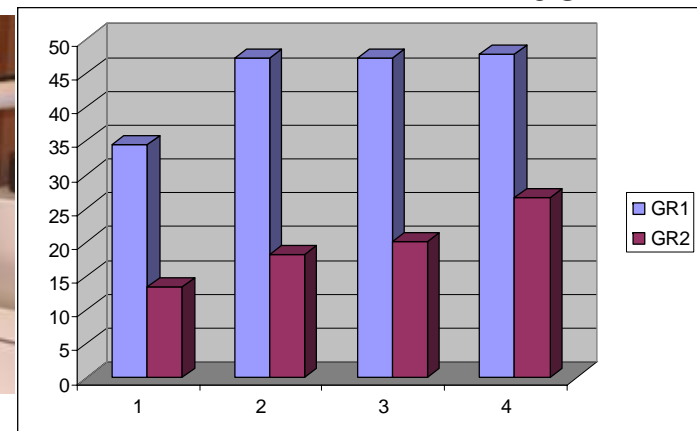
Robotica in riabilitazione

The “GENTLE” robot

The “GENTLE” robot provides therapy for upper limbs by real tasks with **an active grasping mechanism at the end of a robot arm and also through virtual reality with computer graphics where the user manipulates objects on a computer screen through a simple ‘reach and touch’ technique**

The GENTLE system has been developed by a European Consortium coordinated by the University of Reading. The prototype has been recently tested at the Battle Hospital with 11 patients affected by stroke (Amirabdollahian et al., 2003)

Motricity
Index

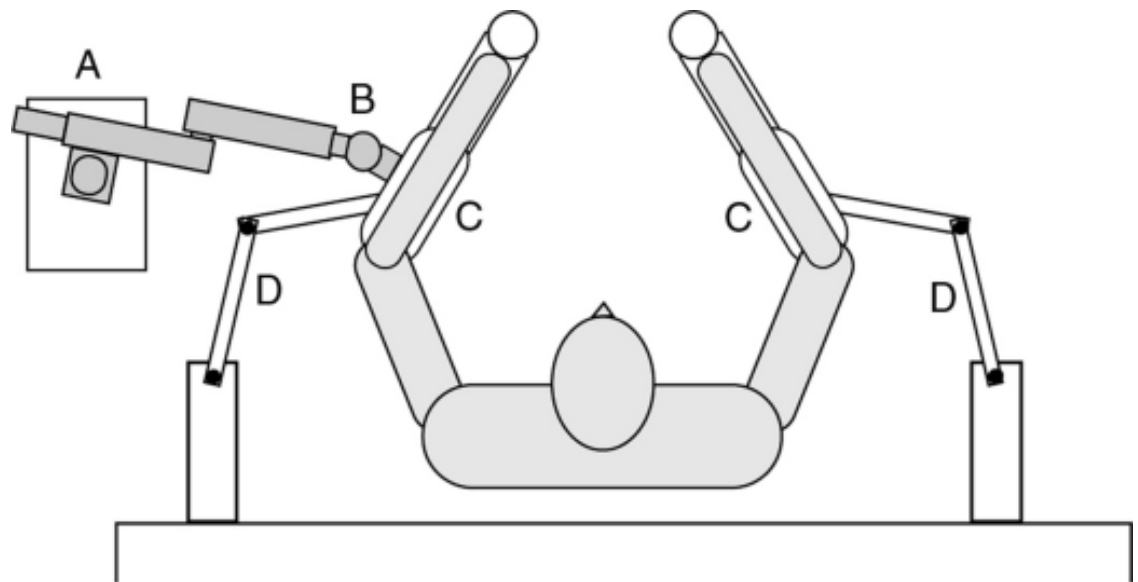


The subjects were randomly divided into two groups (GR1 and GR2) which used the robot before and after another rehabilitation procedure

The two groups showed an increased motor ability (as measured by motricity index)

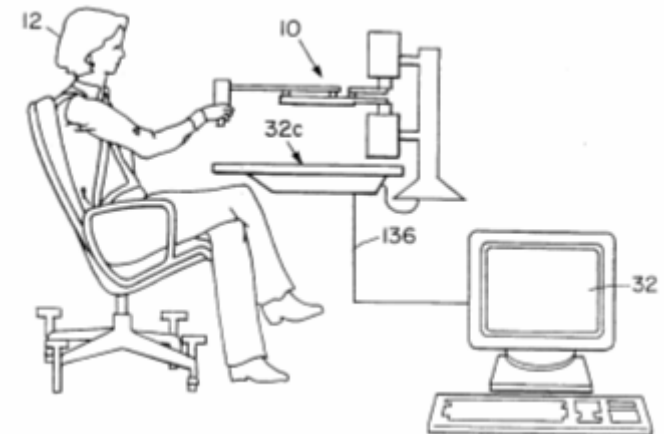
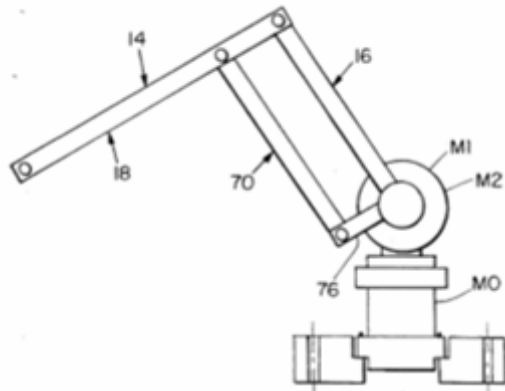
The "MIME" System

- The MIME system was developed in the framework of the Stanford Robotic Aid Project in collaboration with the US VA Spinal Cord Injury Service
- The MIME uses two standard mobile arm supports that limit the movements to the horizontal plane, and a 6DOF robot arm that applies forces and torques to the arm of the patient



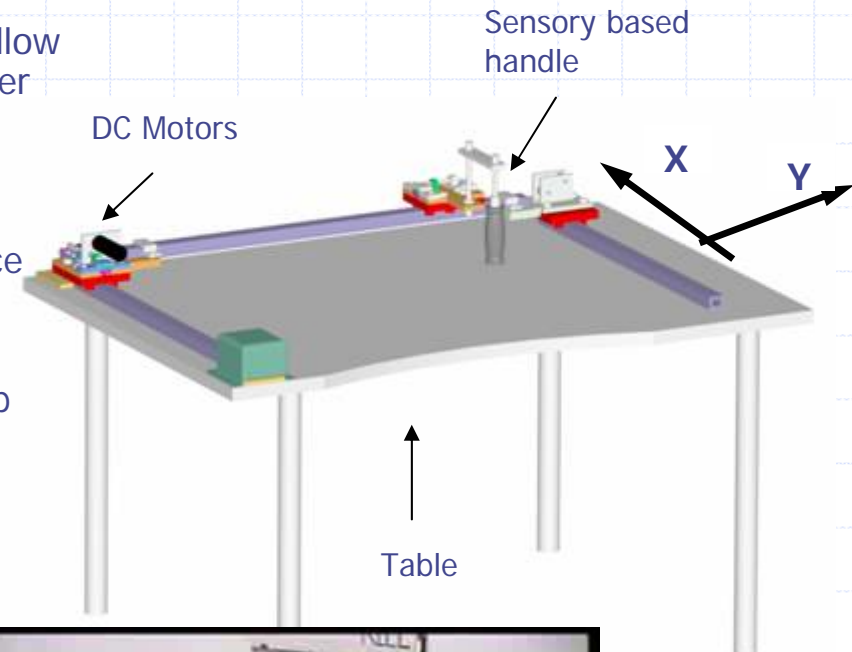
The MIT-MANUS System

- This system has been developed in the laboratory directed by prof. Neville Hogan at MIT
- The MANUS is configured for safe, stable and compliant operation in close physical contact with humans by developing the impedance control which modulates the way the robot reacts to mechanical perturbation from a patient or clinician and ensures a gentle compliant behavior
- The machine was designed to have a low intrinsic end-point impedance (i.e., be back-driveable), with a low and nearly-isotropic inertia (1 0.33 kg, maximum anisotropy 2:1) and friction (0.84 0.28 N, maximum anisotropy 2:1), and be capable of producing a predetermined range of forces (0–45 N) and impedances (0–2N/mm).



MEMOS project: *A MEchatronic system for upper limb MOtor recovery after Stroke*

- MEMOS is a mechatronic device specifically designed to allow intensive physical therapy to improve the recovery of upper limb motor function after stroke;
- The structure lets the handle movement in a plane (2D structure);
- Two Dc motors, by means of a pulley/belt system, displace the handle and they can work in active or passive mode;
- Therapists will use this device:
 - To provoke passive movements of patient upper limb who will hold the handle grip of the device;
 - To assist the patient during active movements;
 - To record information about the motor performance;
 - To control tele-rehabilitation of several patients.

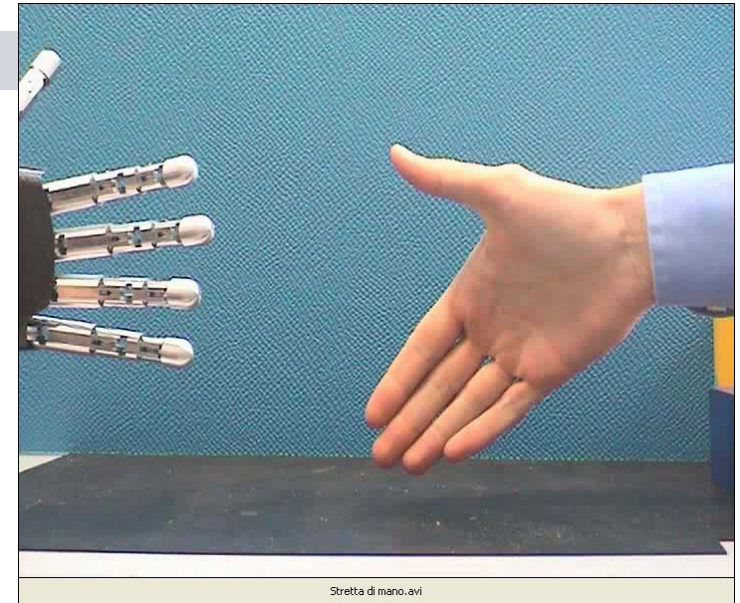
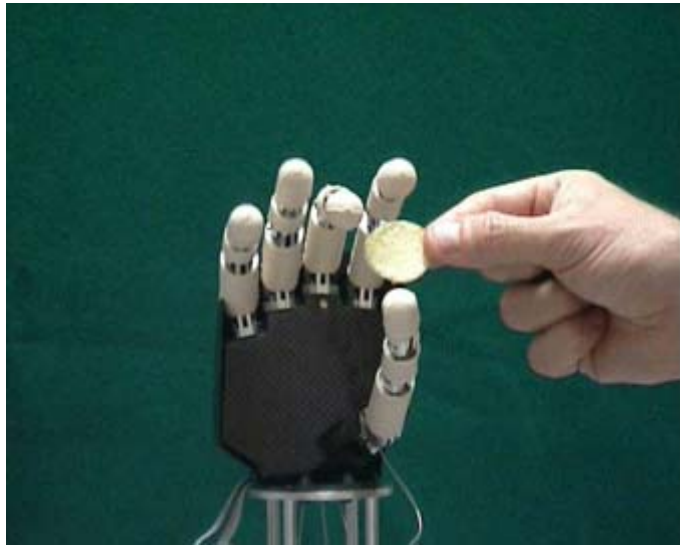


memos1B.avi



memos1A.avi

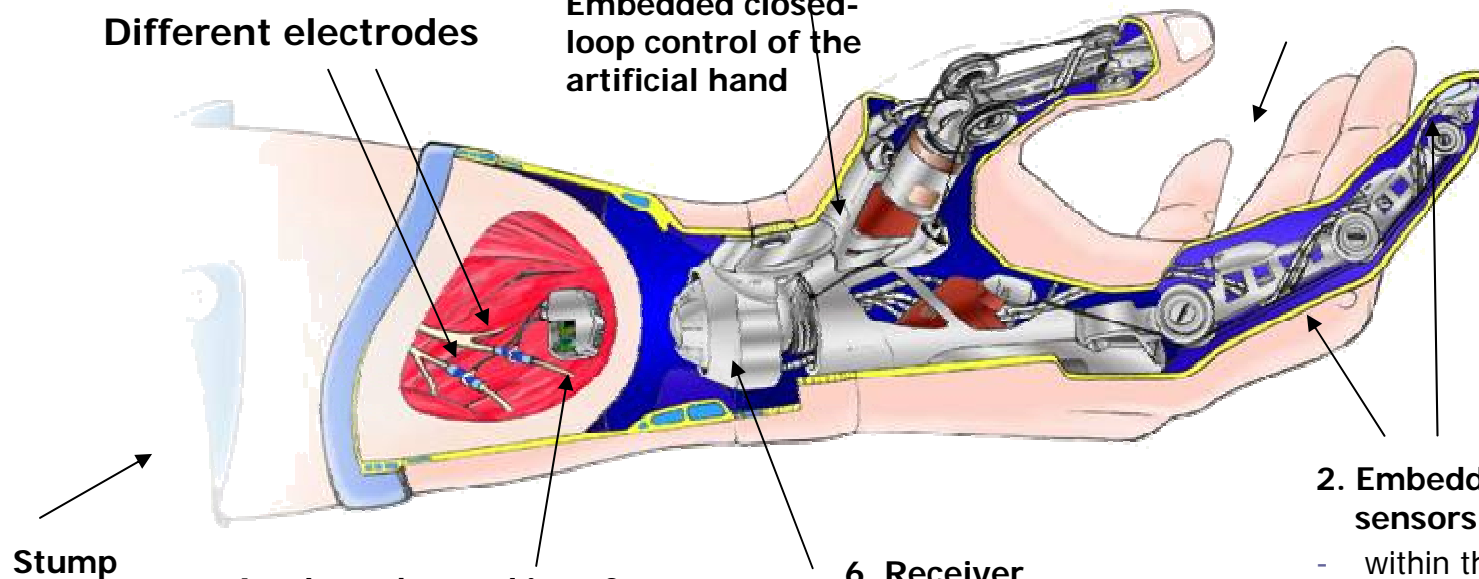
Protesi di mano



8. Decoding patient's intentions and Embedded closed-loop control of the artificial hand

Different electrodes

1. Biomechatronic Hand



2. Embedded Biomimetic sensors:

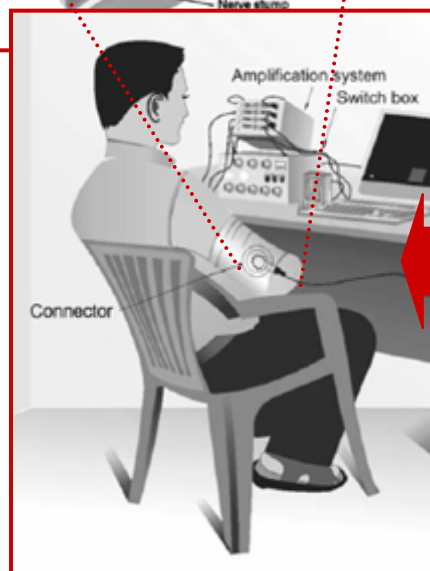
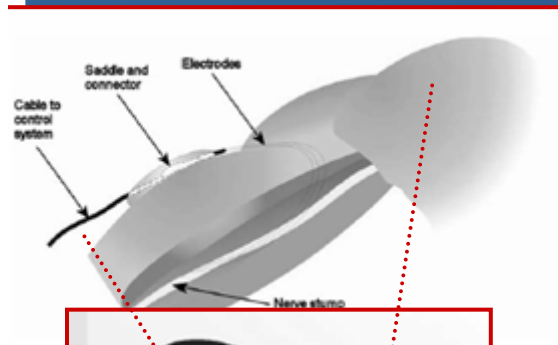
- within the structure
- within the glove

Implanted neural interface:

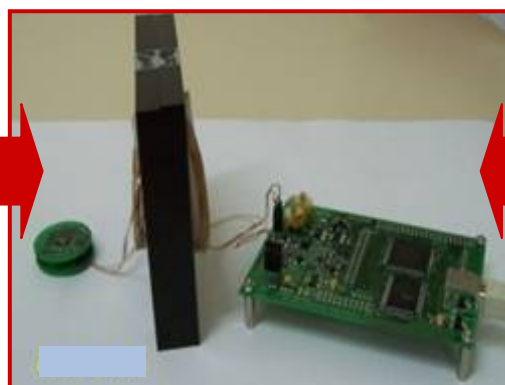
- ♦ ENG efferent signals recording (patient's intention detection)
- ♦ Afferent nerves stimulation (to provide sensory feedback to the patient)

The CYBERHAND Project
IST/FET-2001-35094

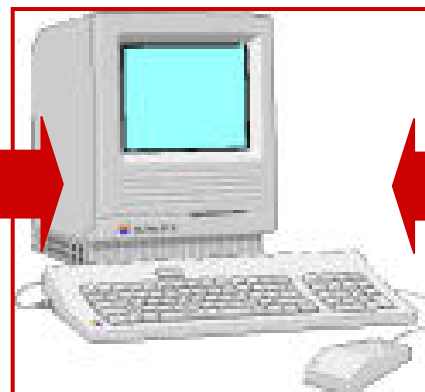
Schema dell'impianto Del sistema CYBERHAND



tfLIFE electrodes
with a
transcutaneous
connection



Recording and
Stimulating
Circuitry
(**outside the**
body of the
subject)

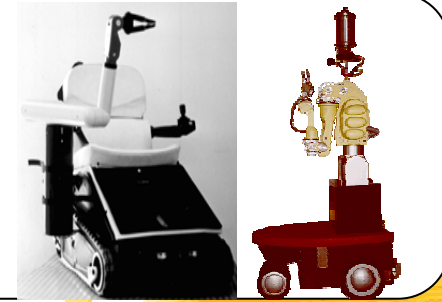


Efferent
processing,
control,
afferent
stimulation (on
a PC platform)



CYBERHAND
prosthesis

Robotica per Assistenza



Obiettivi:

- Favorire il reinserimento sociale e professionale dei disabili
- Migliorare la qualità della vita di disabili ed anziani
- Incrementare il livello di autonomia personale
- Riqualificare il ruolo degli assistenti personali

Robotica per l'assistenza a disabili

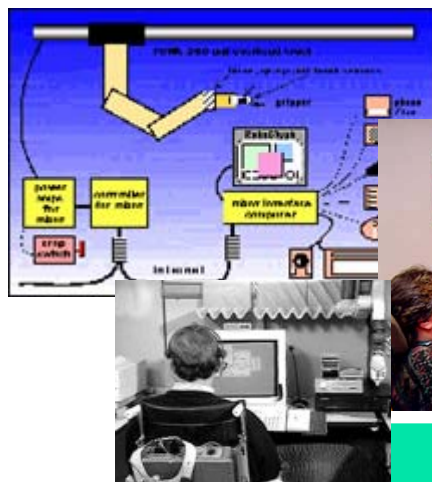


- Stazioni robotiche fisse
- Manipolatori su carrozzina
- Carrozzine intelligenti
- Robot mobili
- Sistemi robotici distribuiti ed ambienti intelligenti



Evolution of Robotics for Personal Assistance

Fixed Workstations



Devar/Provar



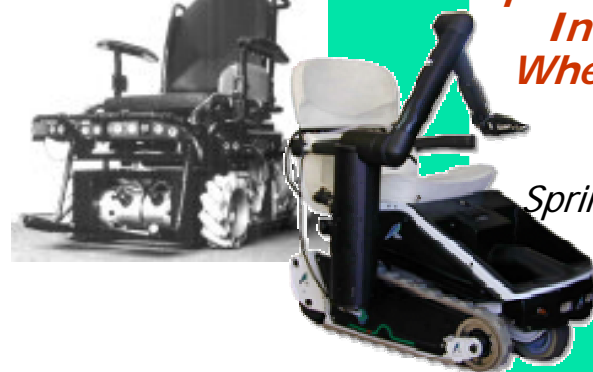
Master-Raid



TOU

TIDE-Omni

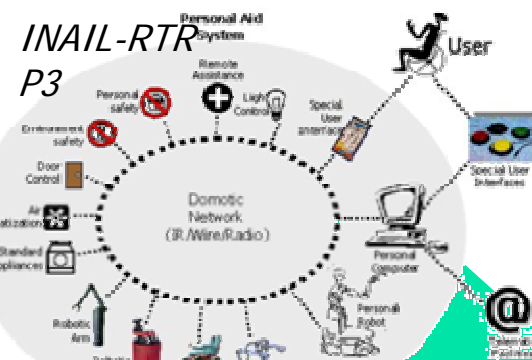
Wheelchair Mounted Manipulators and Intelligent Wheelchairs



Sprint Immediate

Modular Distributed Systems

HWRS ERC system



Mobile Robotic Systems



URMAD Project



Helpmate



TIDE-MOVAID



CareOBot

Stazioni robotiche fisse



DeVar/ProVar

*VA R&D Rehabilitation Center,
Palo Alto, CA*

Un manipolatore
robotico
impiegato presso
una stazione di
lavoro fissa



*First prototype: 1982
First evaluation: 1985*

Stazioni robotiche fisse per disabili: EU TIDE Programme, "RAID" Project

*First prototype: 1993
First evaluation: 1995*

*A robotic
workstation for
persons with
physical
disabilities in a
computerized
office
environment*



Manipolatori su carrozzina

SPRINT-
IMMEDIATE



Manipolatore a bordo di
una carrozzina elettrica ad
assetto variabile per il
superamento delle
barriere architettoniche

First prototype: 1994

First evaluation: 1995

Smart wheelchairs: EU TIDE "OMNI" Project



First prototype: 1995

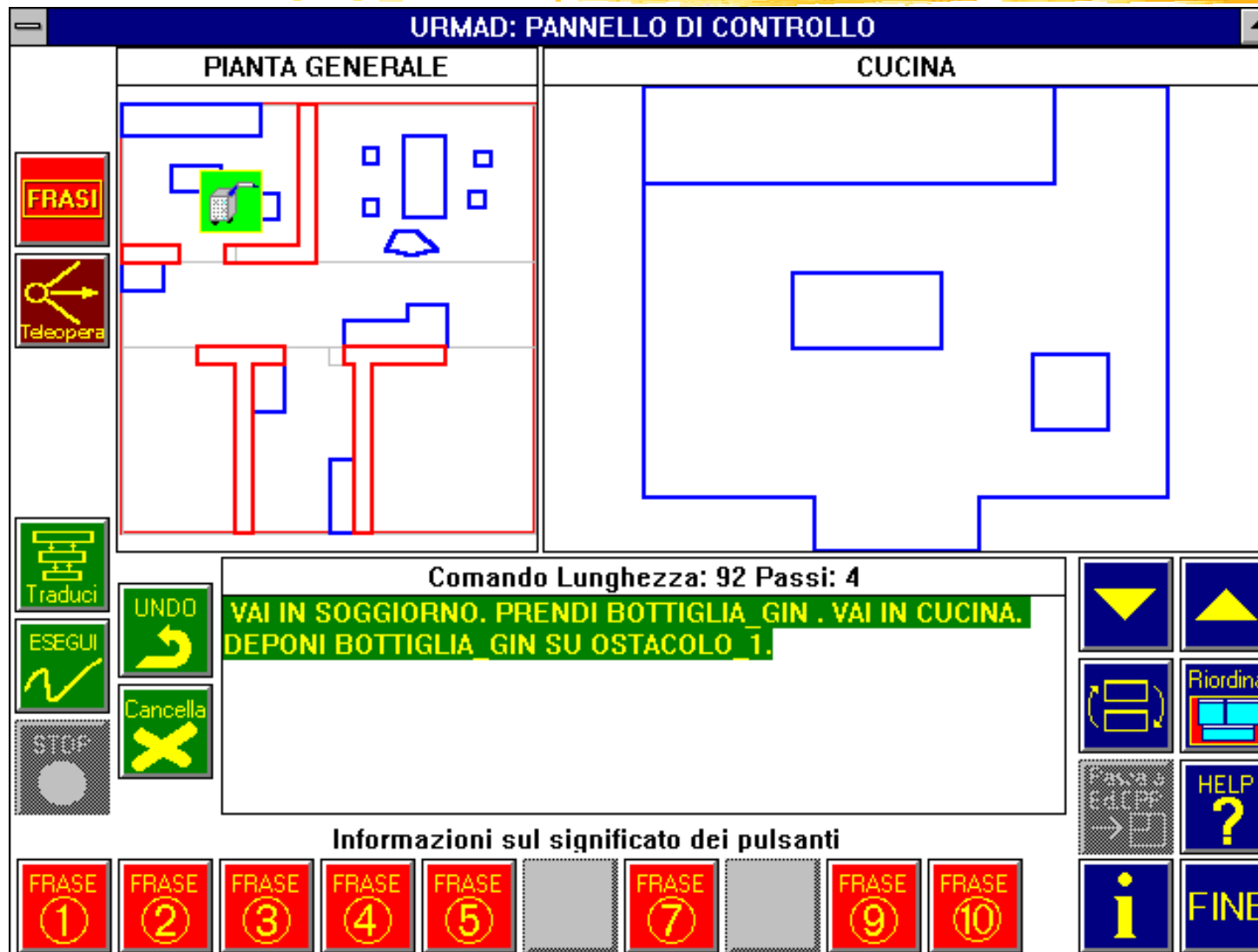
First evaluation: 1996

Omnidirectional
wheelchair with
'smart' navigation
system based on
ultrasound and
infrared sensors for
obstacle detection

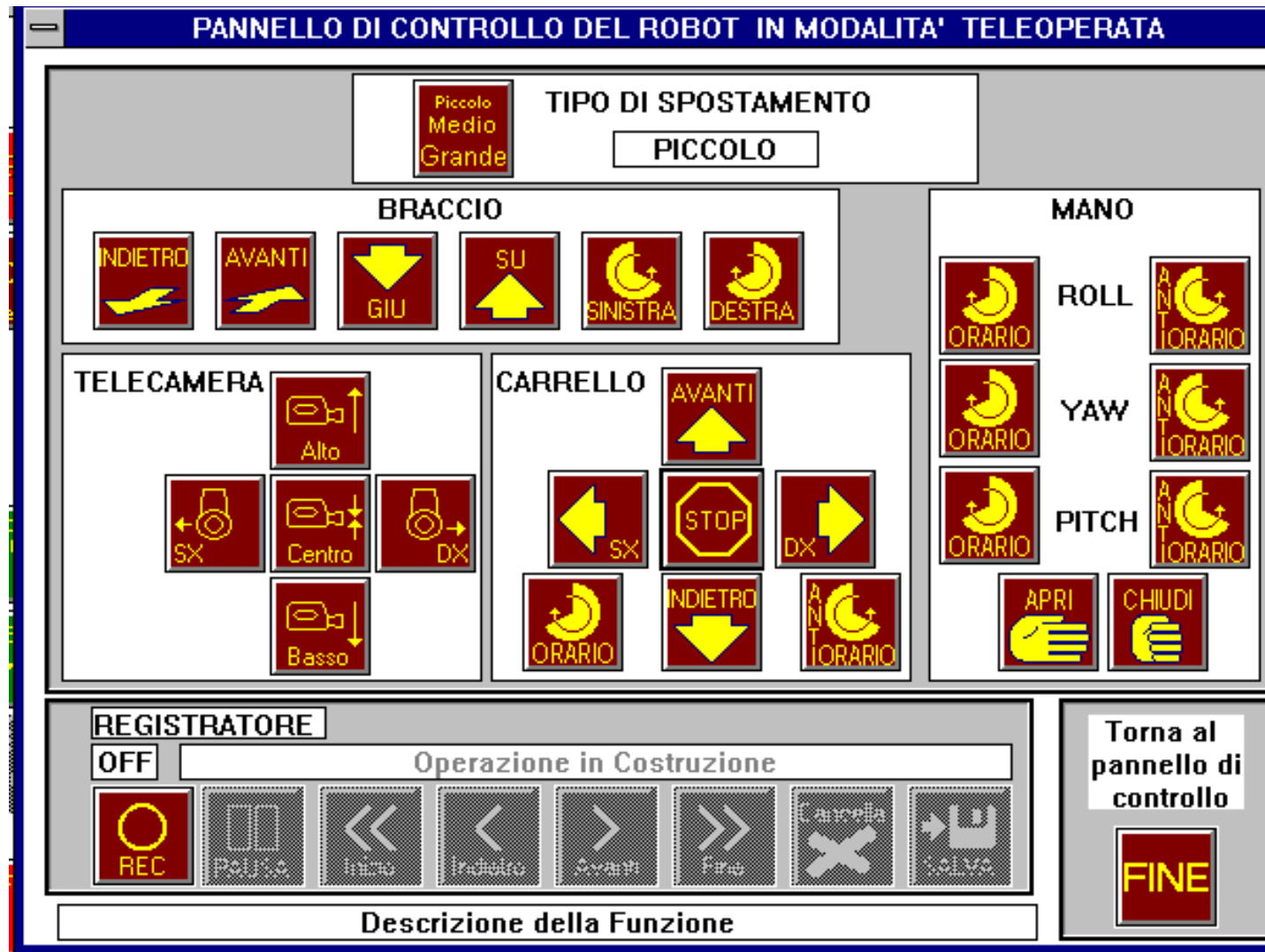
Sistemi robotici mobili: URMAD



L'interfaccia utente di URMAD: modalità autonoma



L'interfaccia utente di URMAD: modalità tele-operata





Care-o-Bot

IPA, Stuttgart (Germany)



Household tasks

Fetch and carry-tasks

Mobility support

Communication and
social integration

Monitoring and safety

Home Management



CARE-O-BOT



CareBot by Gecko Systems, (USA)

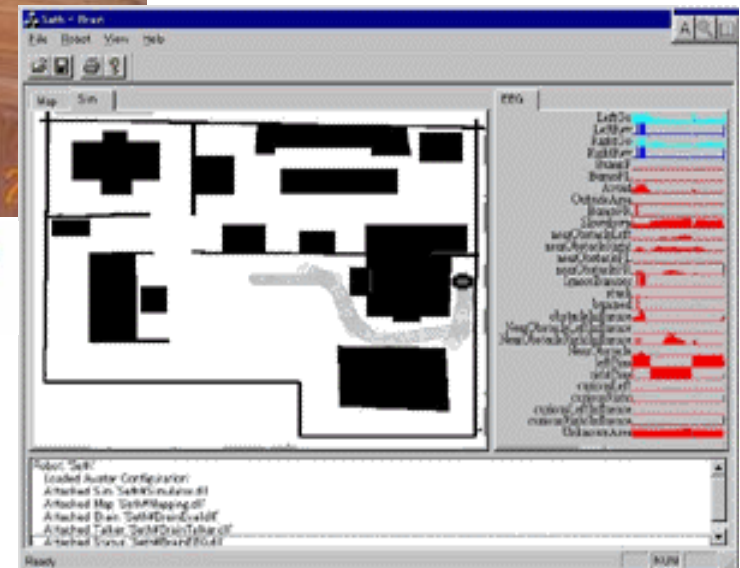


CareBot Serving Refreshments

CareBot Navigating Kitchen

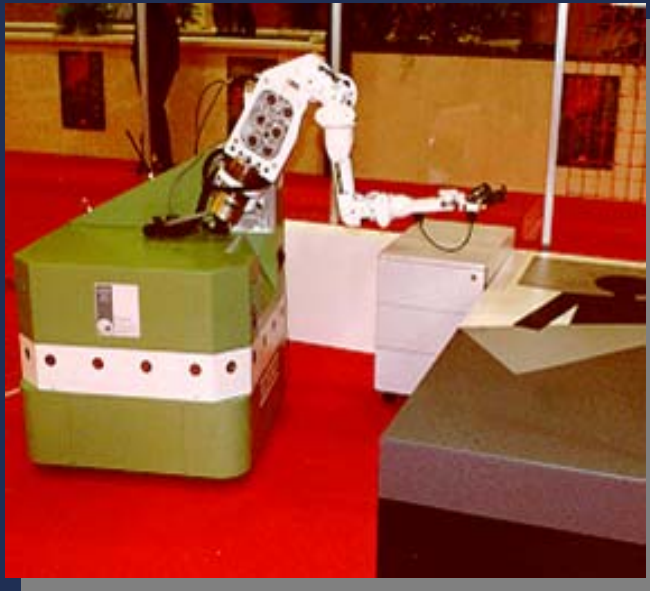


The CareBot™



Evoluzione del concetto di robot personale

URMAD



- Massima Autonomia
- Centralizzazione delle risorse
- Pesante e Ingombrante



MOVAID



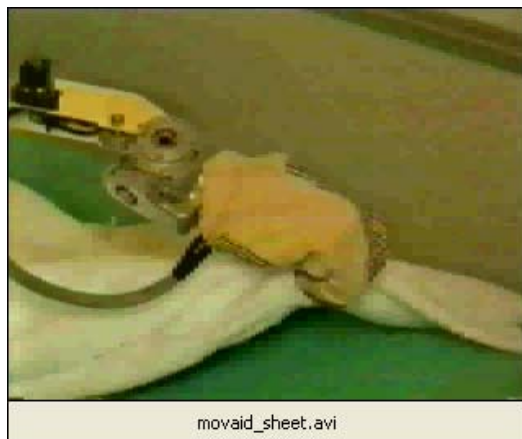
- Semi-Autonoma
- Sistema Distribuito (Docking)
- Più semplice e compatto

TIDE-MOVAID: Sistema robotico mobile per l'assistenza domestica

Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, 1994-1997

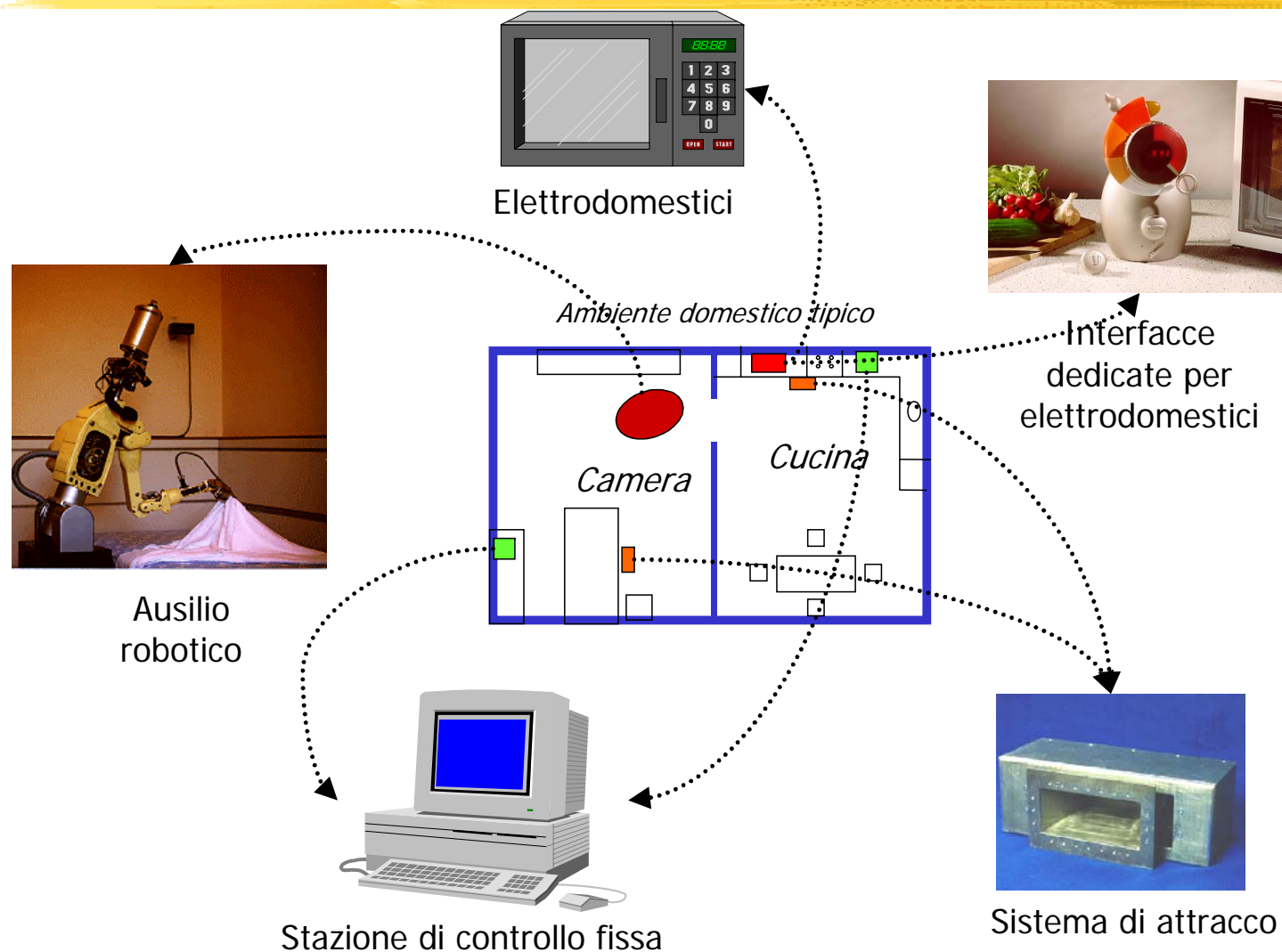


I compiti di MOVAID

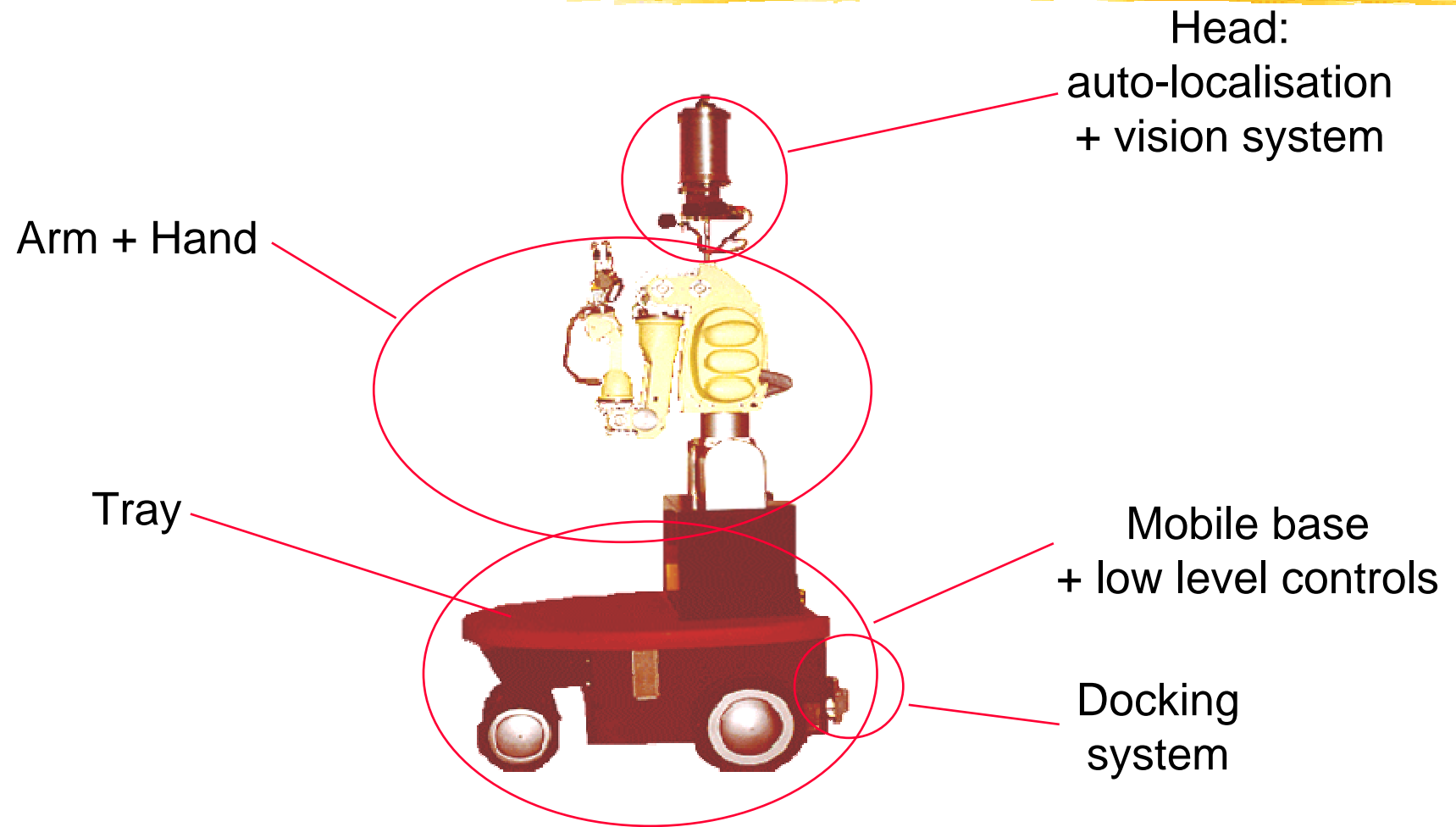


"Centro Auxilia"
Casa Famiglia
O.A.M.I.
v. Bonaini, Livorno
Con il supporto della
Cassa di Risparmi di
Livorno

Il sistema MOVAID: un'unità robotica mobile in grado di 'attracciarsi' a stazioni fisse



MOVAID mobile unit



Il sistema di 'attracco' (docking) di MOVAID



Un caso di studio: la progettazione del sistema robotico MOVAID

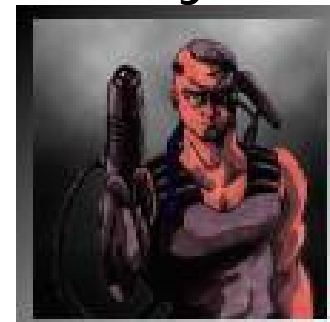
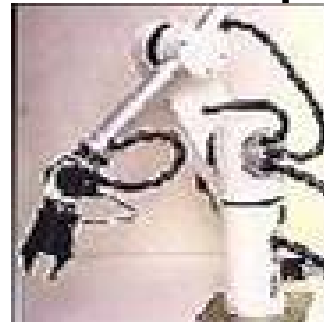


- Determinare la predisposizione degli utenti verso la robotica
- Personalizzare il livello di autonomia del sistema
- Identificare le funzionalità del sistema
- Disegnare l'aspetto del robot

...coinvolgendo 140 utenti potenziali (disabili e loro familiari ed assistenti), in 3 paesi, attraverso questionari ed interviste

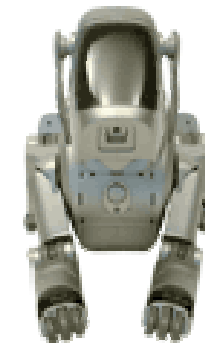
Ricerca iconografica

- TRISTEZZA: robot industriali, 'Metropolis', cyborg



- SORRISO/AMMIRAZIONE:
automi, uomo di latta, robot animali

- PAURA: 'Mazinga', 'Alien'



- GOLEM

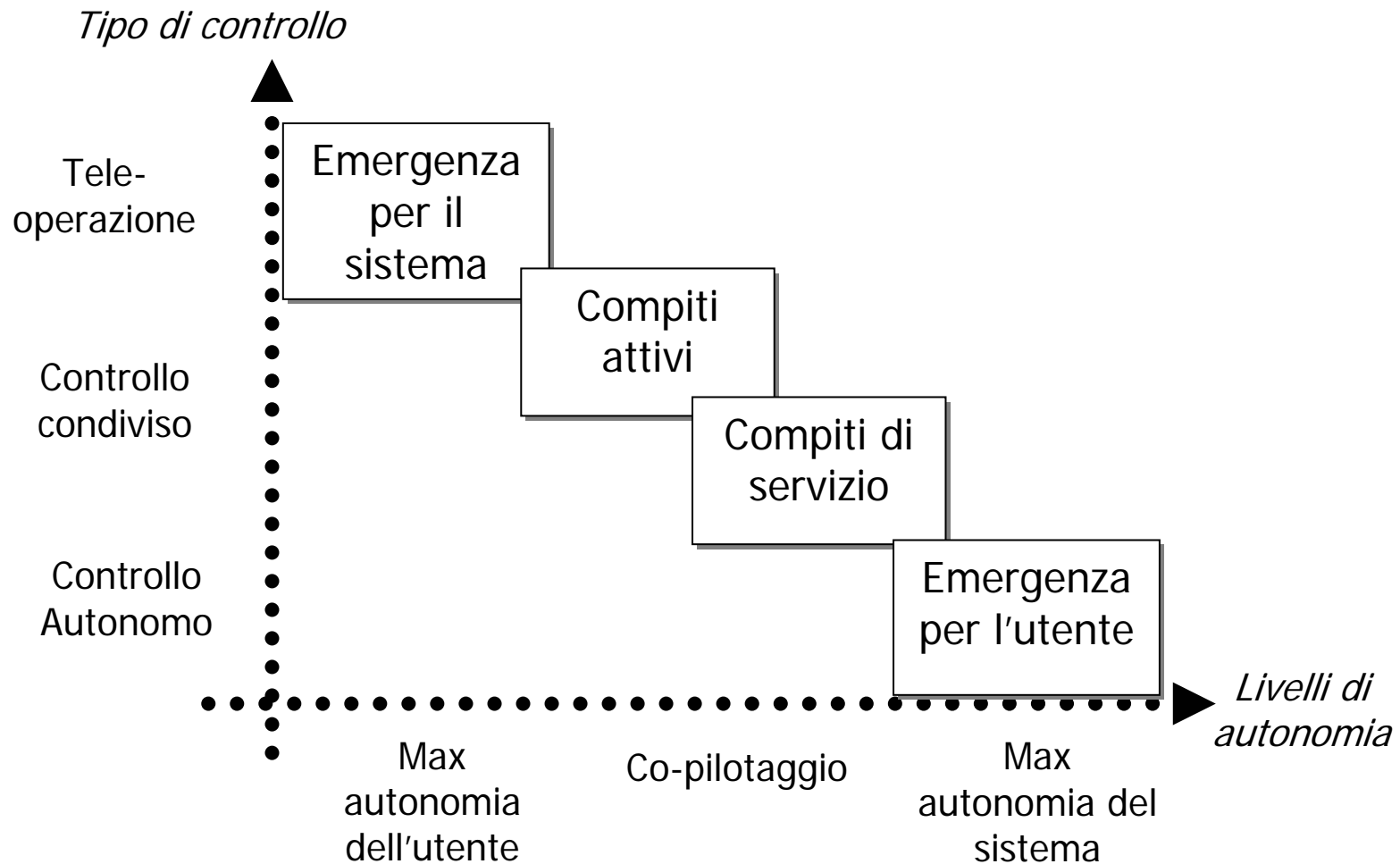


Desirable characteristics of a personal robot according to users analysis

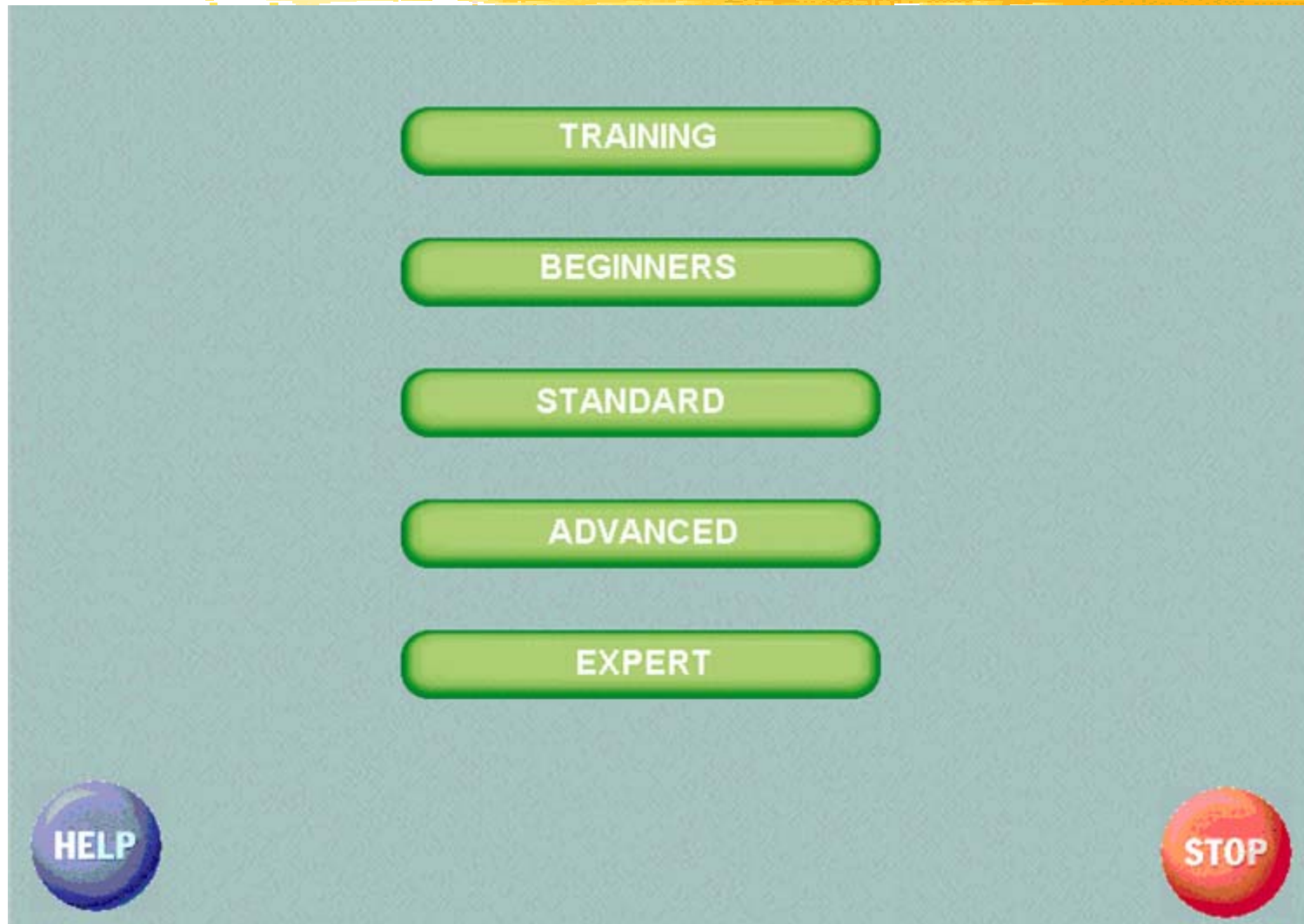


- the robot should look clearly **artificial**, never biomorphic nor anthropomorphic;
- a careful balance should be kept between the technical look and some '**softer**' elements suggesting a feeling of humanism and friendliness;
- 'caricature' elements (pet-robot, puppet) should be generally avoided, as they could create a sense of unreliability (should I be helped by a toy?);
- the robot should 'sleep' in a reassuring position and, when waking up, it should warn and start with a gentle movement;
- the robot should never move in the darkness, or should warn with a light before moving;
- the arm should possibly offer objects from a lower position, avoiding coming toward the user with a 'threatening' attitude.

Modularità nell'autonomia



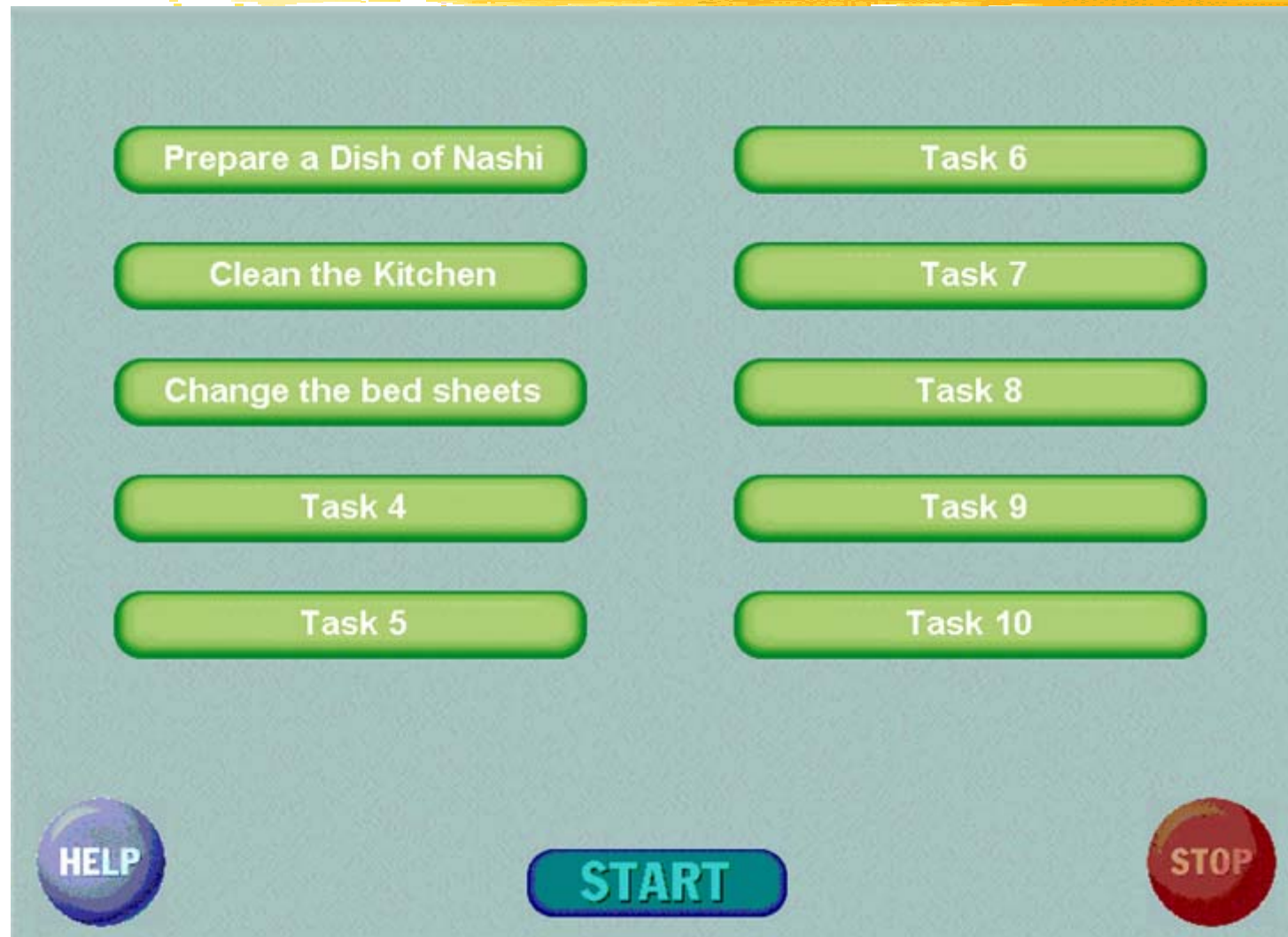
L'interfaccia utente di MOVAID



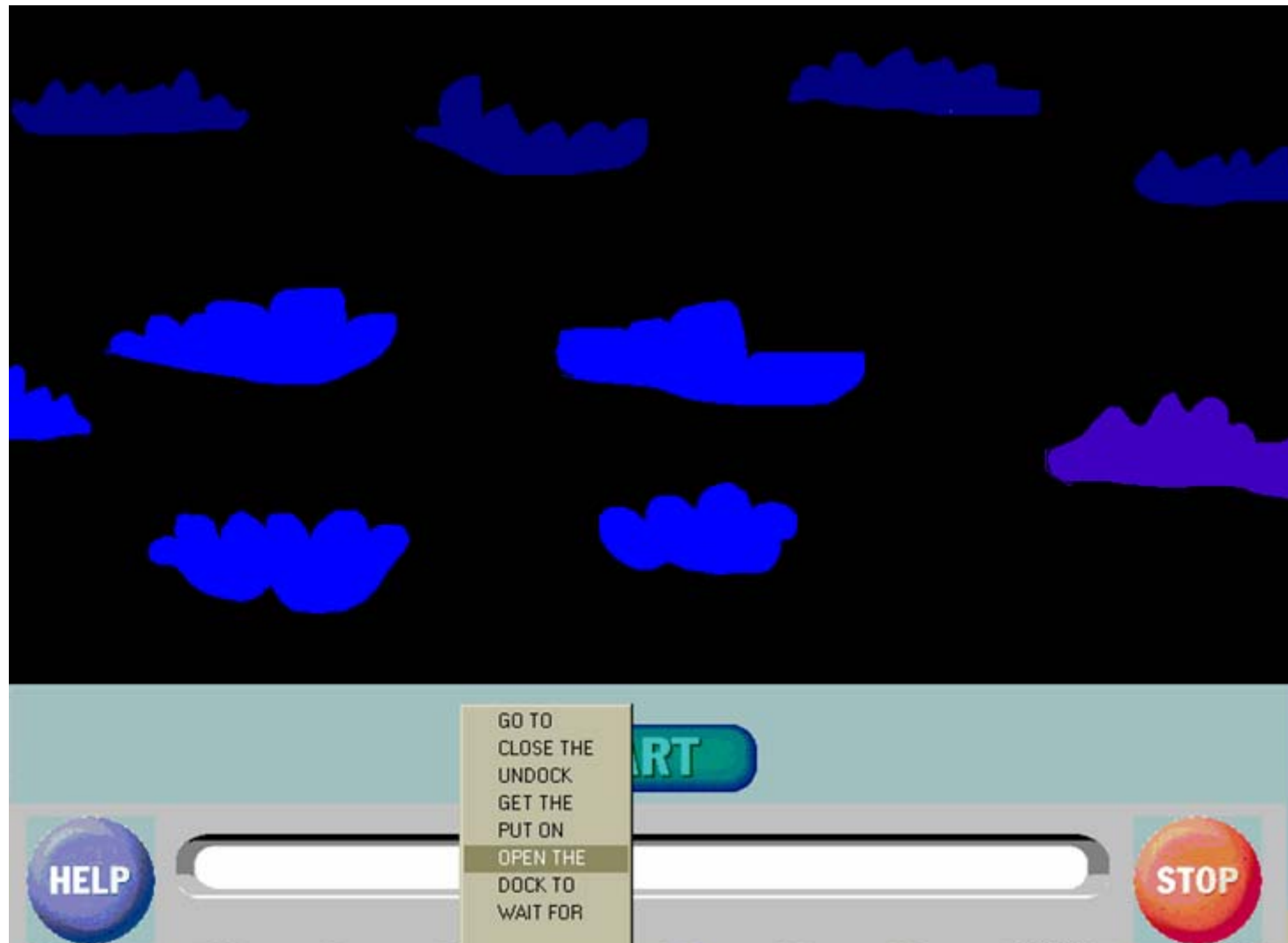
L'interfaccia utente di MOVAID



L'interfaccia utente di MOVAID



L'interfaccia utente di MOVAID



L'interfaccia utente di MOVAID



Co-operazione nell'esecuzione dei compiti

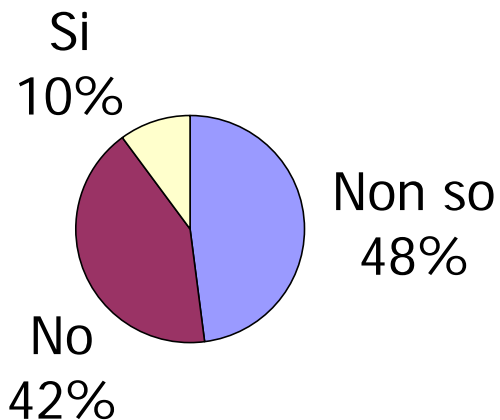


movaid_interaction.avi

Validazione del sistema MOVAID

Prima di
MOVAID

Immagini l'assistenza
di un Robot?



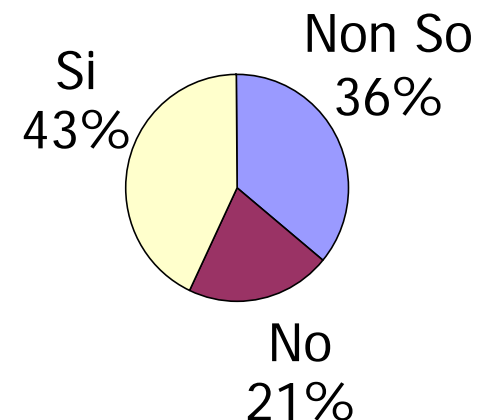
Prove
Sperimentali



64 utenti coinvolti in
prove e dimostrazioni in
3 diversi paesi Europei

Dopo
MOVAID

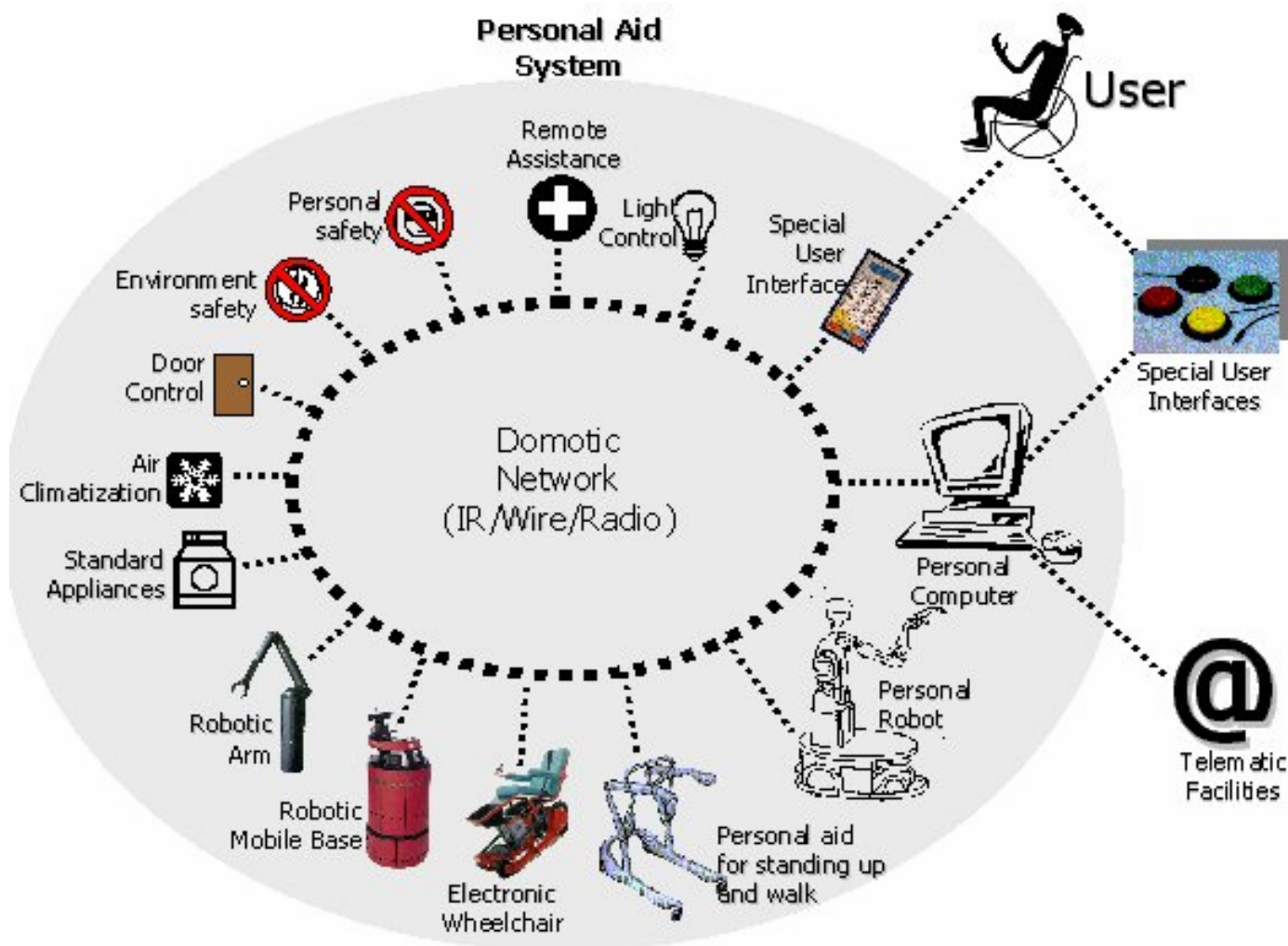
Vorresti avere un
Robot come
Assistente?



Domotica



Nuovo concetto di sistema modulare integrato



Task-specific Robots



*Handy 1
Rehab
Robotics*



MySpoon



*Cye Robot
ProRobotics*



*Roomba
iRobot*

✓ Pros:

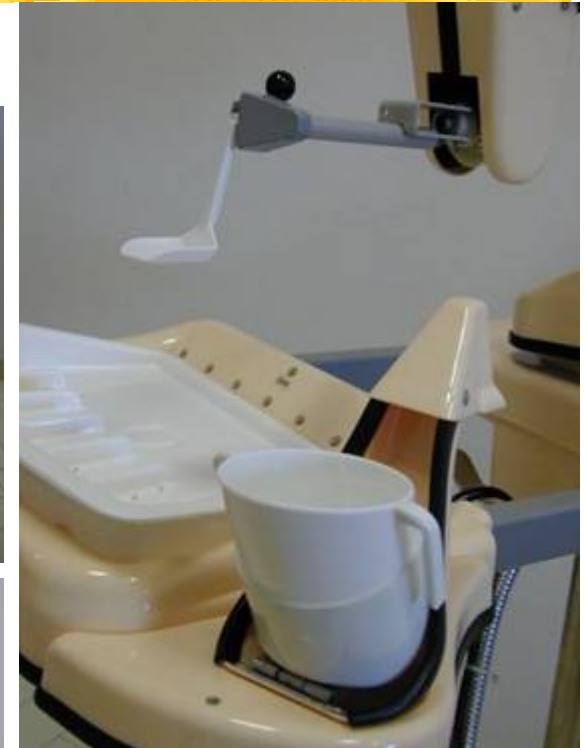
- ▶ Natural evolution of today's appliances
- ▶ Less invasive
- ▶ Lower cost to benefit
- ▶ More commercially viable
- ▶ Shorter development cycle

✓ Cons:

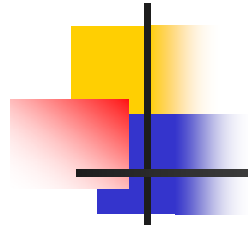
- ▶ Need many devices to meet total need
- ▶ Less natural in human environment

Handy1: un robot per mangiare

By RehabRobotics, UK, 1997



Research trends for Assistive Robotics



- Two main paths for assistive robotics:
 - Long-Term: general purpose robotic servants, which MAY have human-like, humanoid appearance BUT IN ANY CASE SHALL BE capable of operating without heavy environmental adaptations, and of interacting at cognitive level
 - Medium/Short-Term: the robotic appliance. The concept of a novel generation of task-specific appliances taking full advantage of enabling micromechatronics and ICT technology, and of human-centred design