

# 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

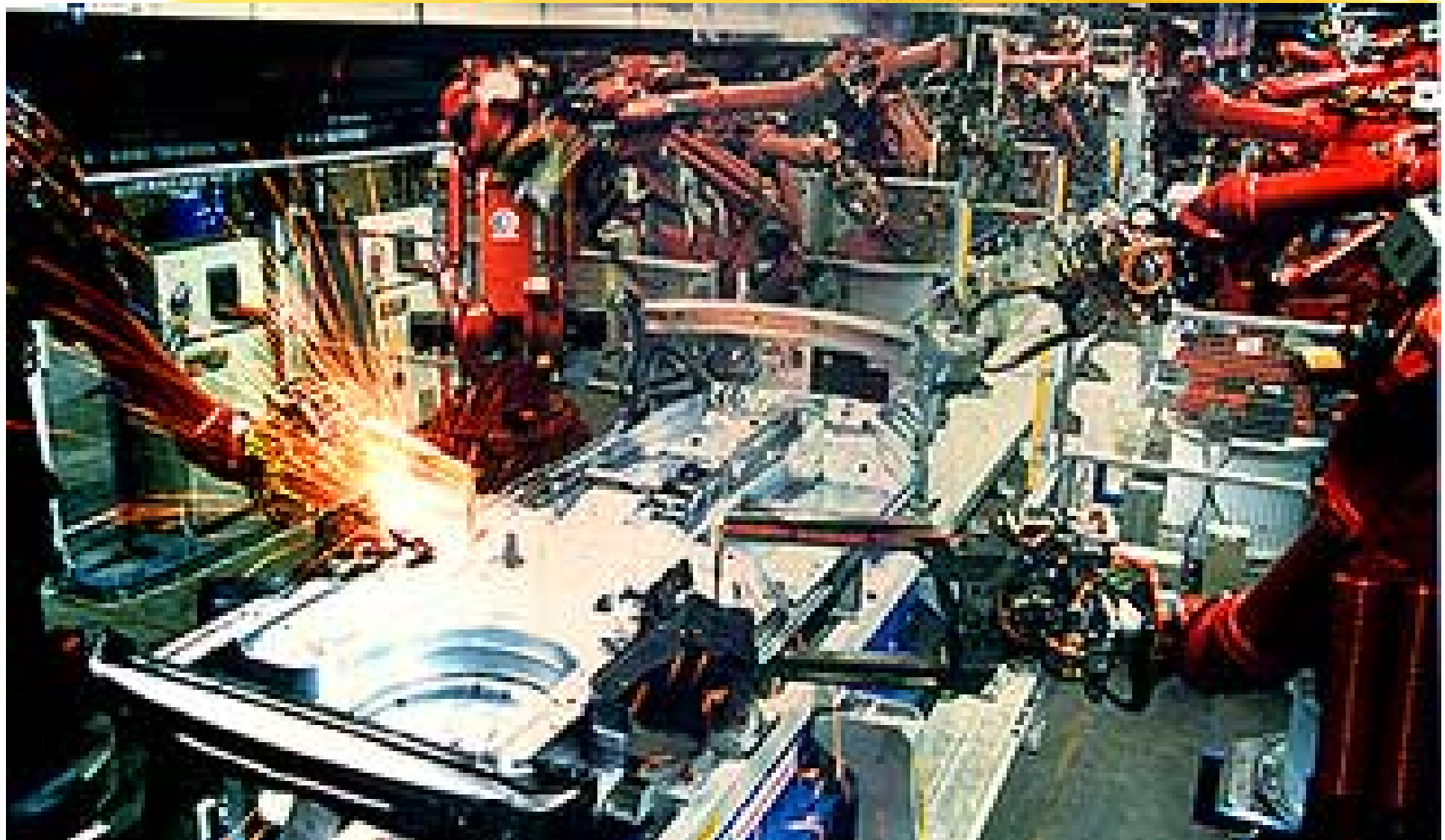
*ARTS Lab*

*Advanced Robotics Technology &  
Systems Laboratory*

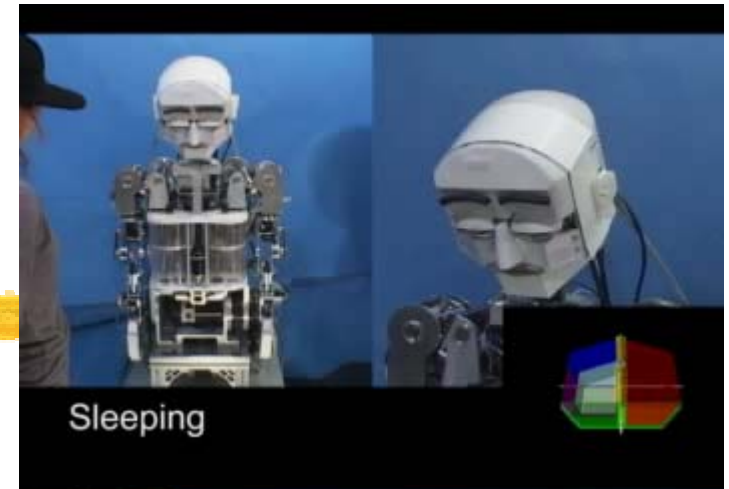


Corso di Laurea Specialistica in Informatica  
Università di Pisa

# Automazione Industriale: la nascita e lo sviluppo della Robotica



# La robotica oggi – alcuni esempi



# 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 (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 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 dei meccanismi neuroscientifici che presiedono alla coordinazione senso-motoria e alla sintesi dei comportamenti nell'uomo (neuro-robotica)

# La robotica biomedica



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



# Neuro-Robotica



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



- 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)

# Robotica Bio-ispirata



- 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 (*embodiment*)

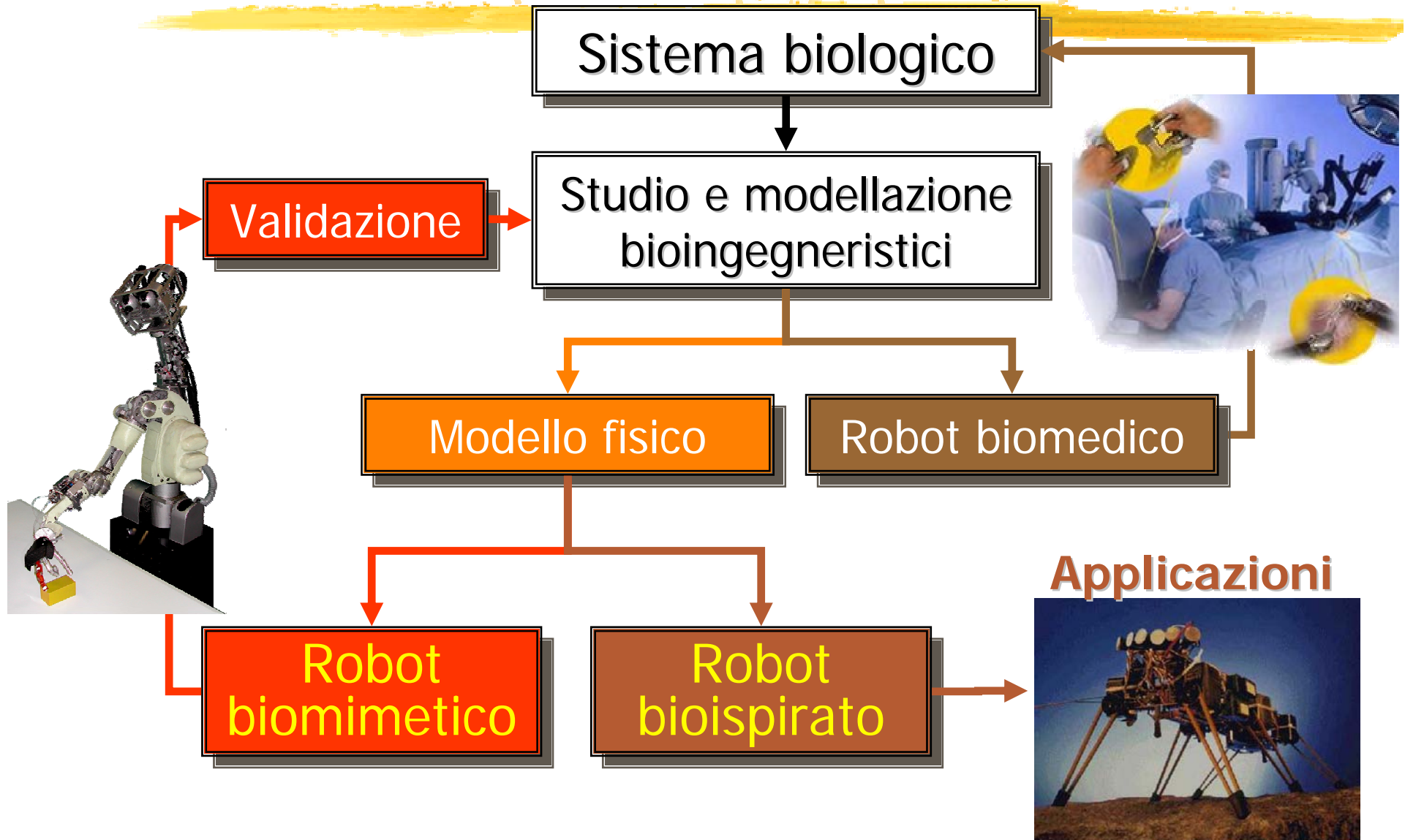
*Rodney A. Brooks, 1998*

*Direttore Artificial Intelligence Laboratory*

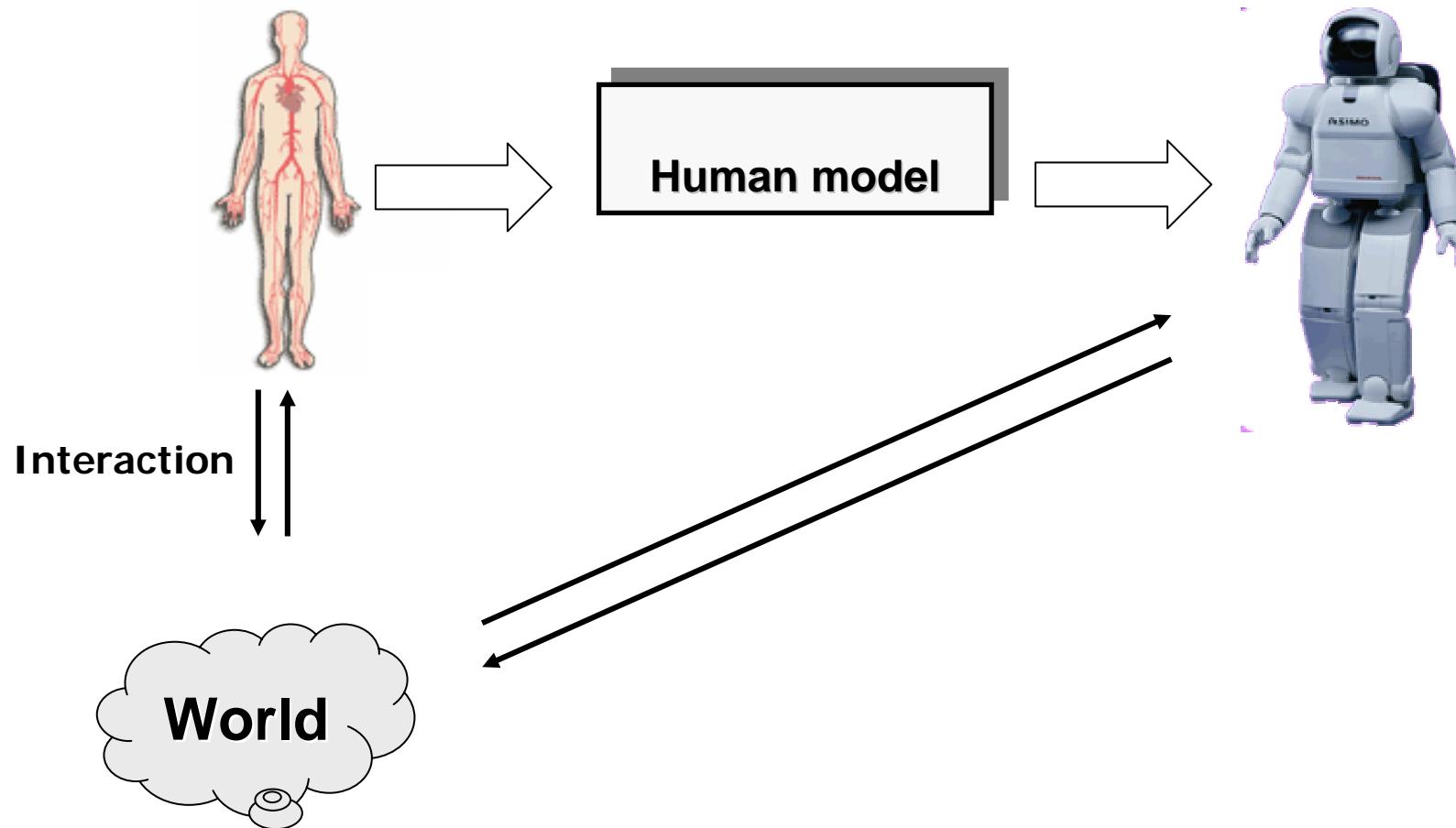
*MIT - Massachusetts Institute of Technology*

*Boston, USA*

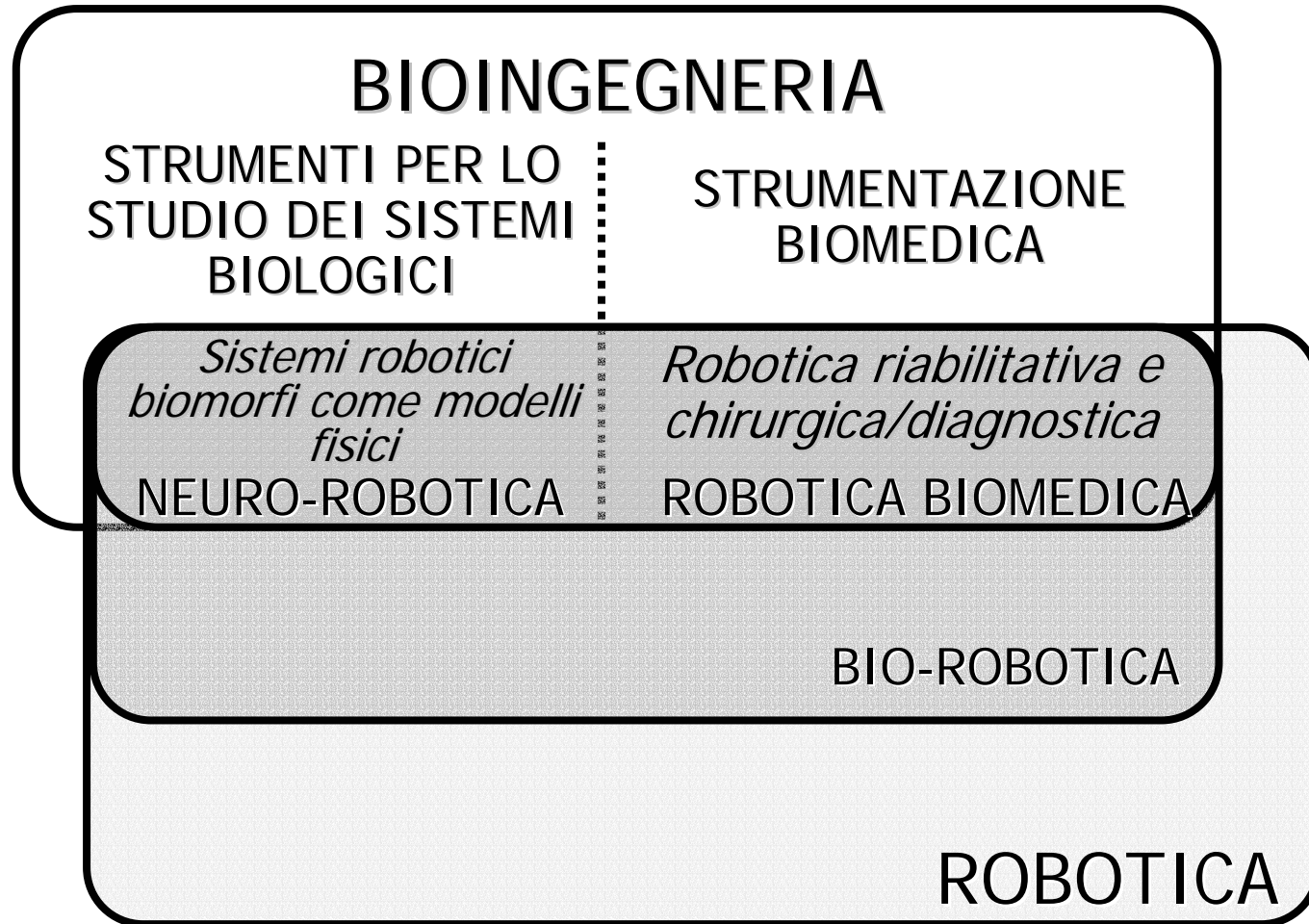
# Robotica bio-ispirata e neuro-robotica



# Neurorobotics vs. simulations and animal models



# Bioingegneria e biorobotica



# 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*

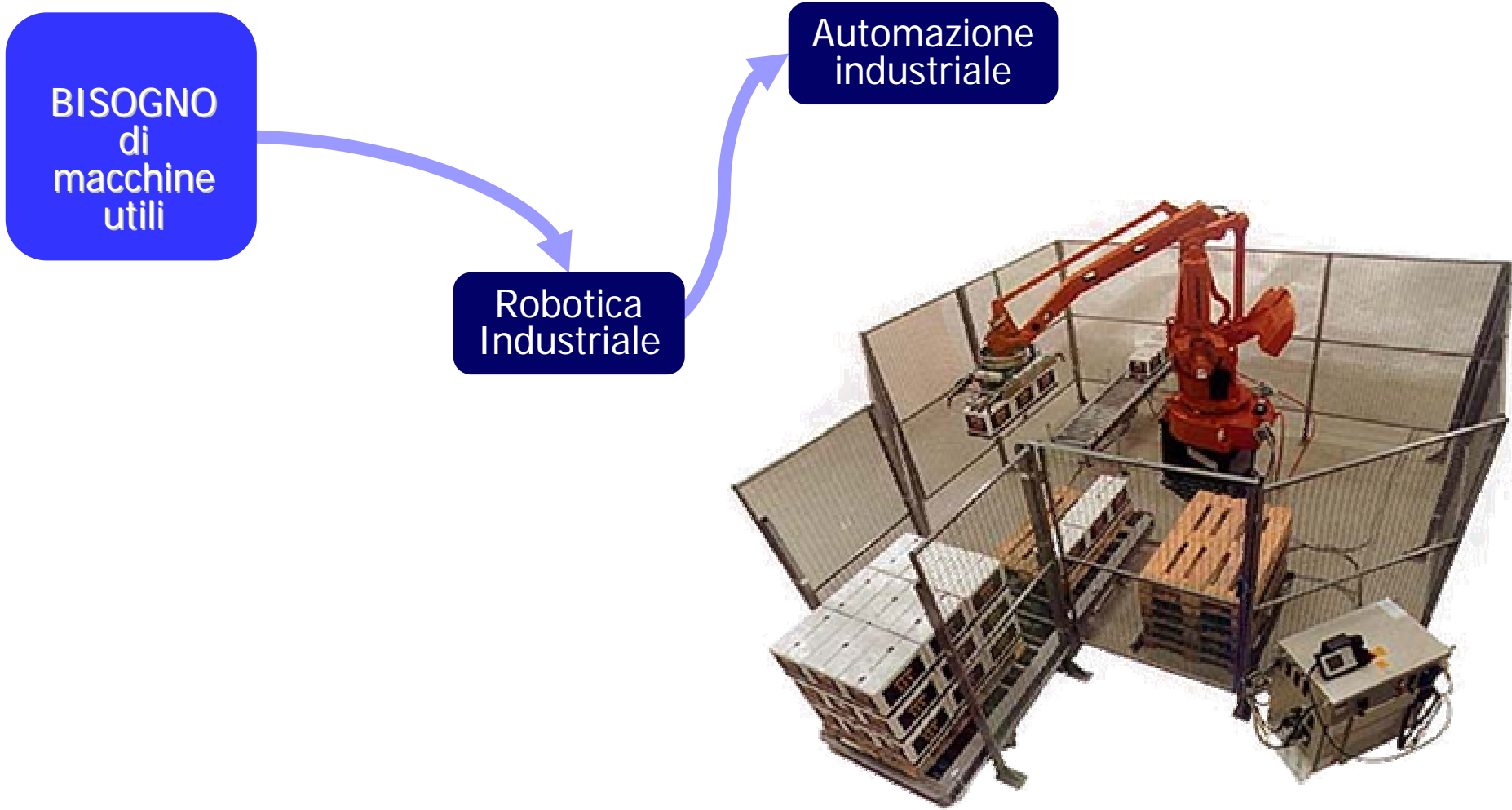
*Maja Mataric (~ 1990)*

- 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)*



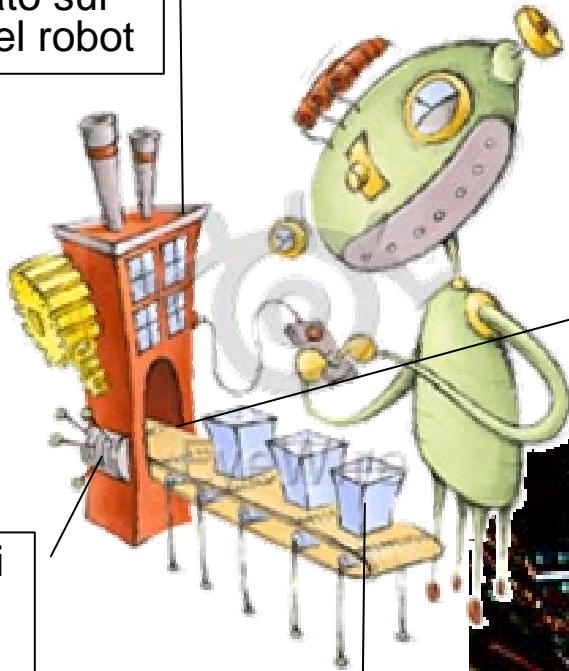
# Evoluzione della Robotica



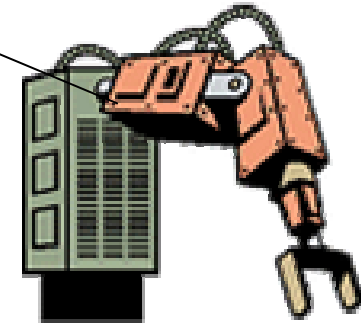


# Scenario robotico industriale

Ambiente  
strutturato sui  
bisogni del robot



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

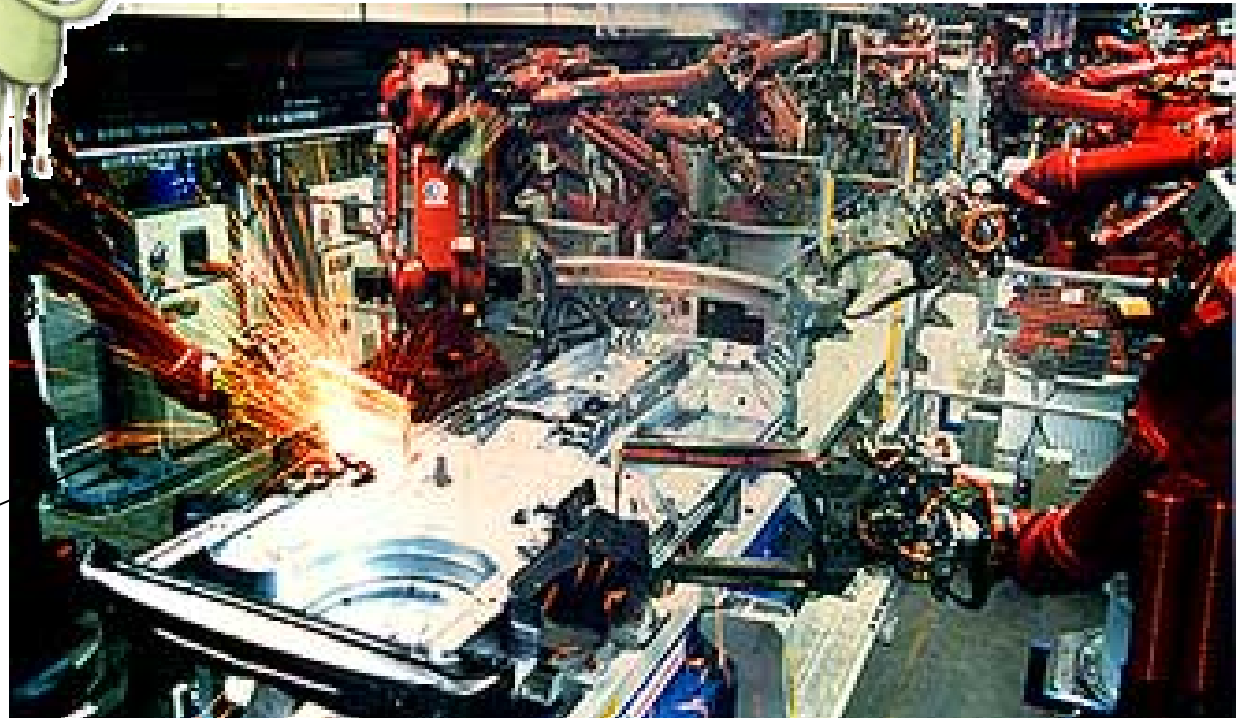


Procedure ben  
definite ripetitive

Operatori  
esperti  
(formati  
all'uso)

Posizioni  
predefinite degli  
oggetti da  
manipolare

Presenza umana  
umana nell'ambiente di  
lavoro ben delimitata

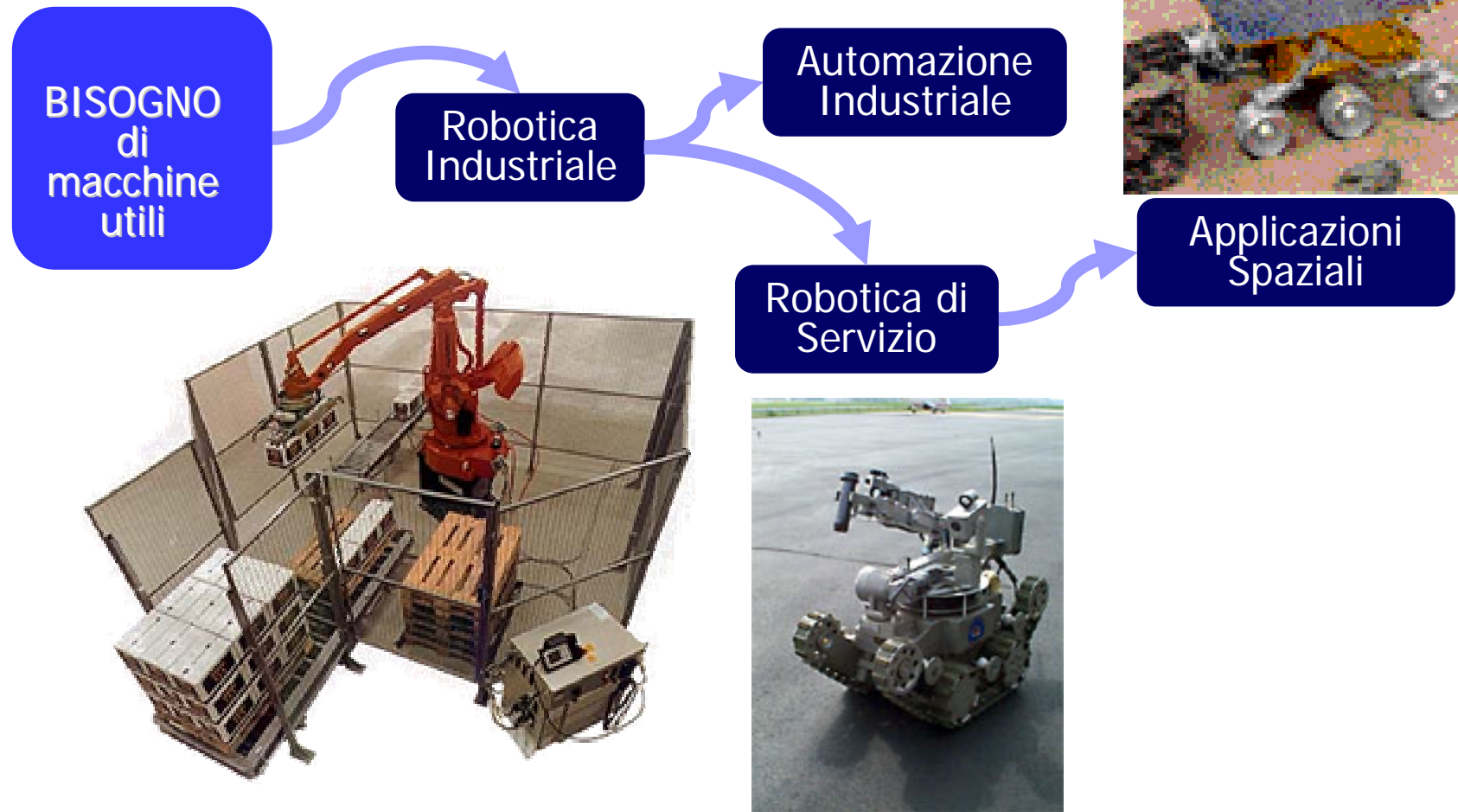


# Analisi comparativa delle prestazioni dell'Uomo e del robot

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

[A. Murata, 2000]

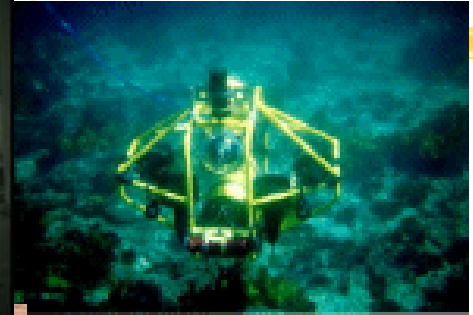
# Evoluzione della Robotica



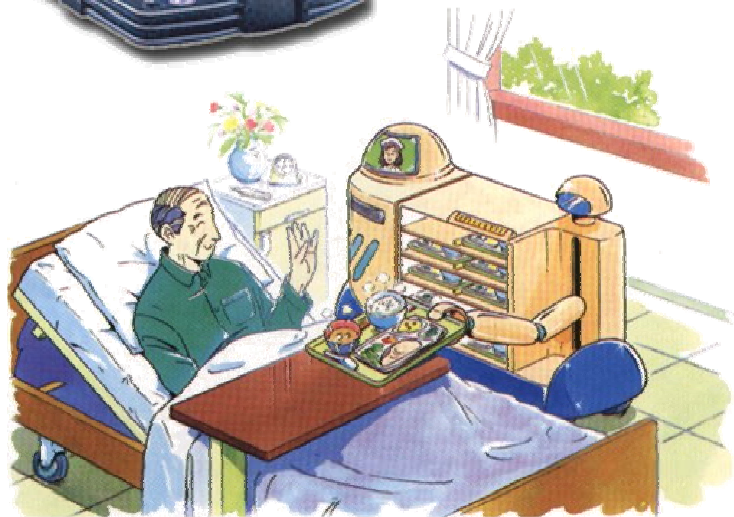
# I robot fuori dalle fabbriche...



Servizi



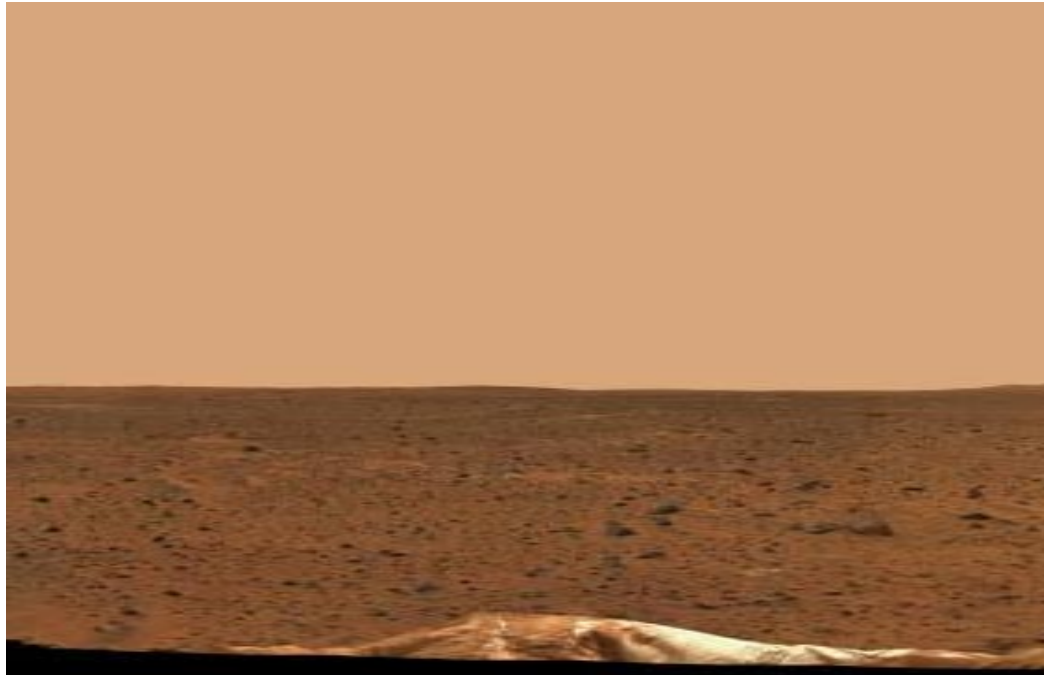
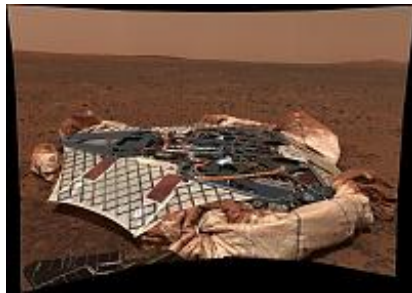
Ambienti ostili



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

# Esplorazioni spaziali

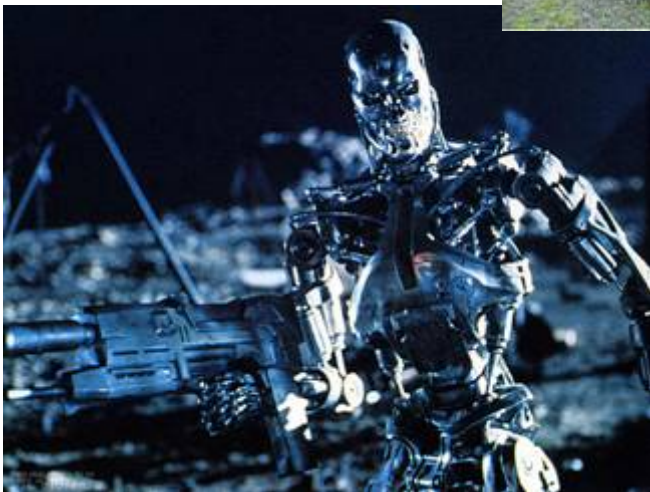
- Spirit, Opportunity (2003) e il Robonauta



# Robot sottomarini



# Robot da Guerra



# Applicazioni domestiche

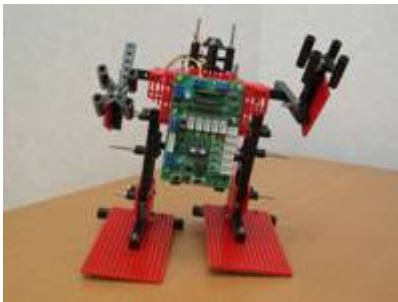


4 cleaning methods in 1 pass



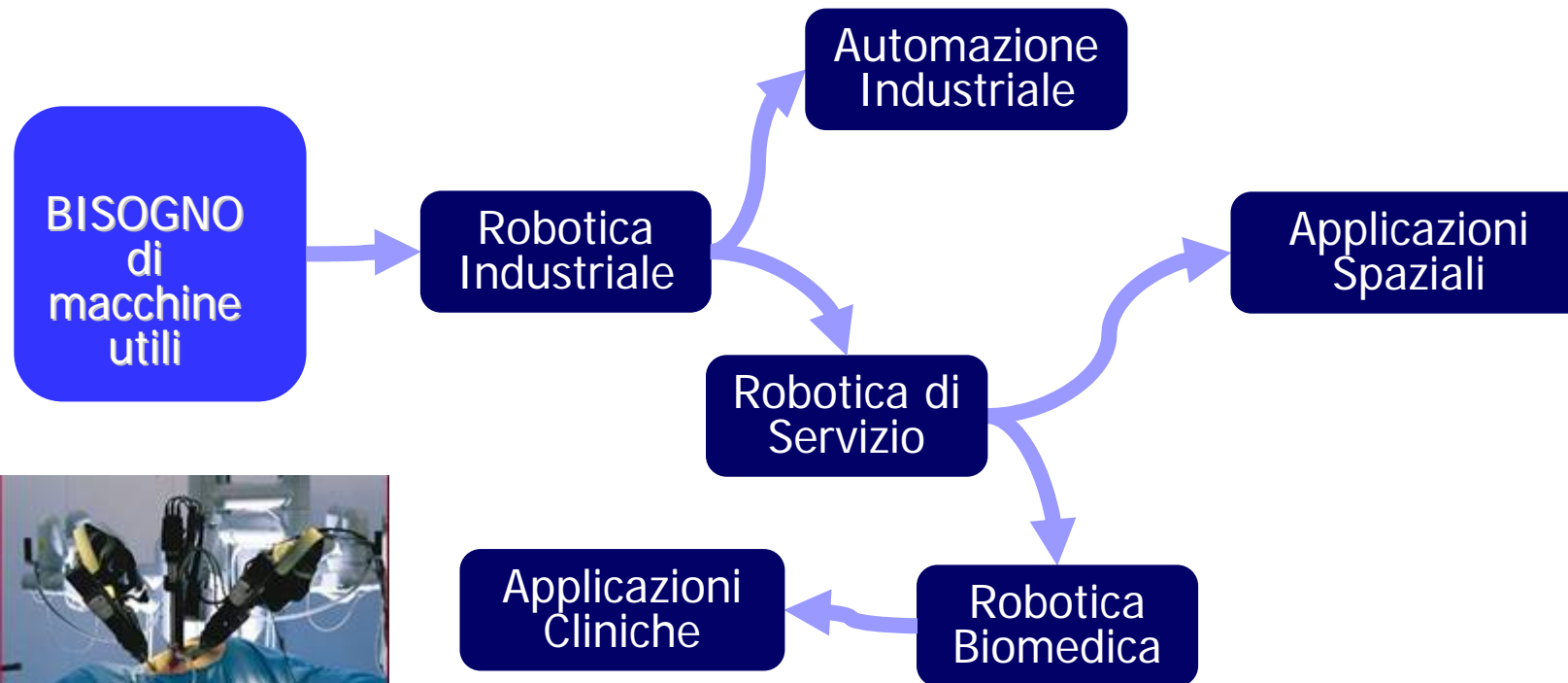


# Robot per intrattenimento e edutainment



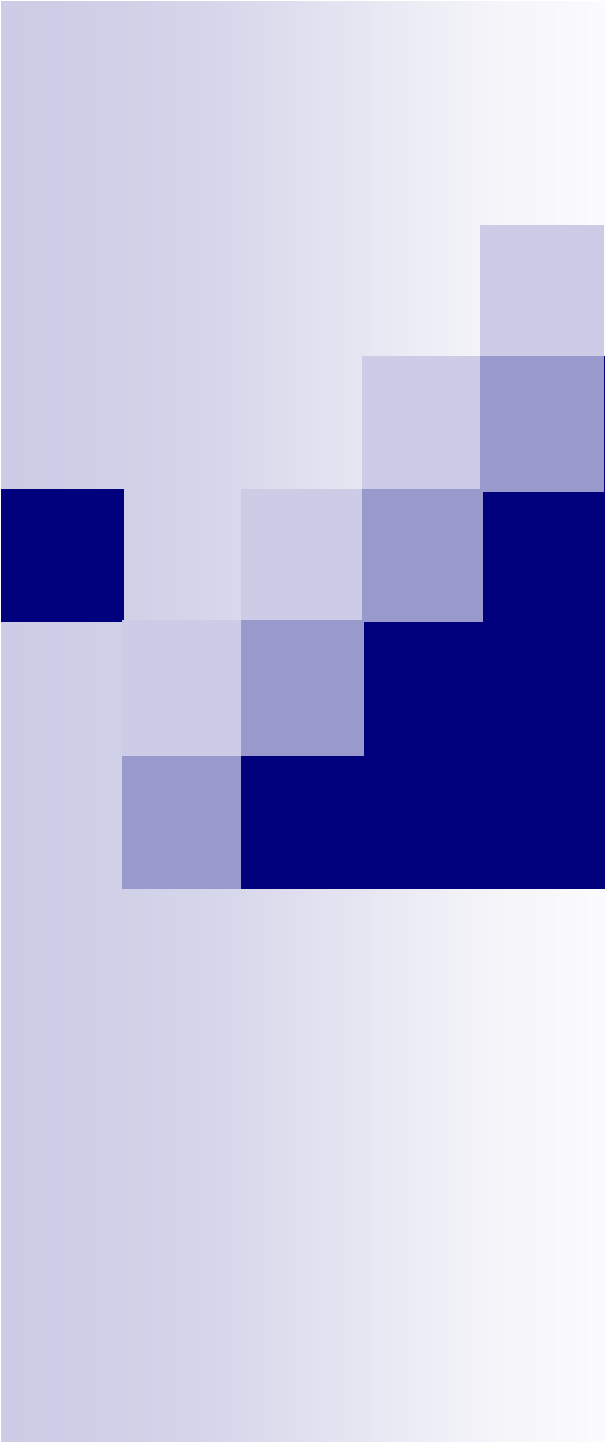
numero 372 - agosto 1999 L. 7000

# Evoluzione della robotica



Assistenti Personali





# Robotica in chirurgia

# Il robot chirurgico “Da Vinci”



# *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

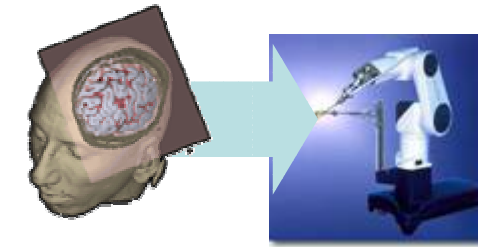
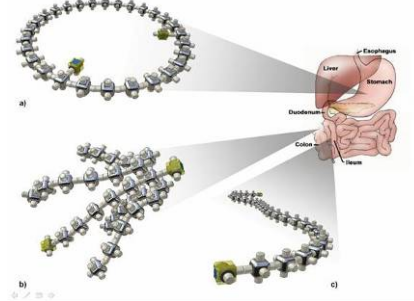
## TRADITIONAL SURGERY



## MINIMALLY INVASIVE SURGERY



*Da Vinci CAS system*



## ENDOLUMINAL SURGERY

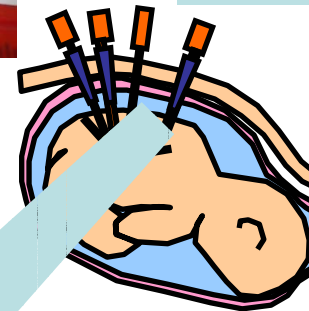


*Endoscopic capsules  
Reconfigurable surgical systems*

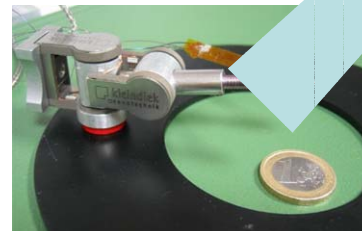
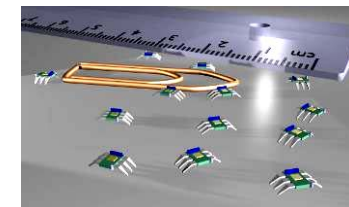


*Micro-endoscope for spinal cord*

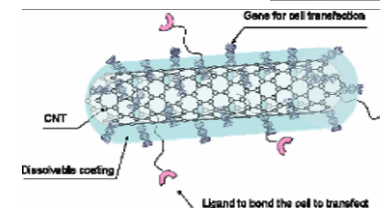
## FETAL SURGERY



## CELL SURGERY



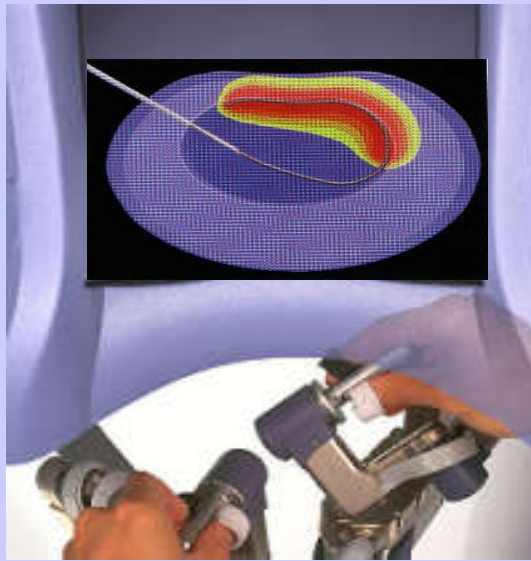
*Force-feedback scissor for fetal surgery*



*Artificial virus for cell therapy*

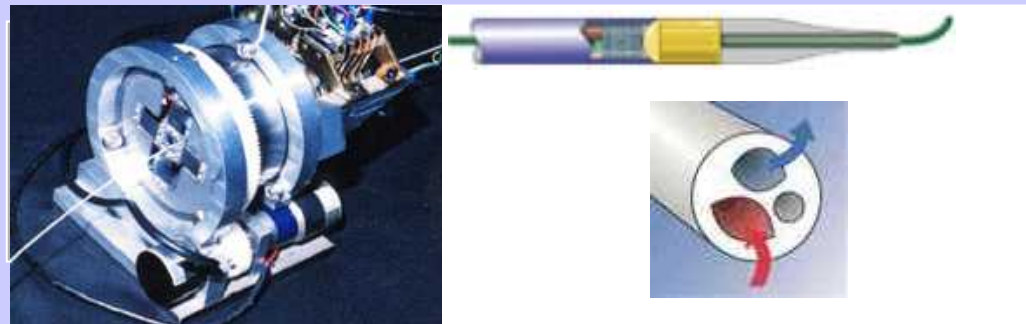
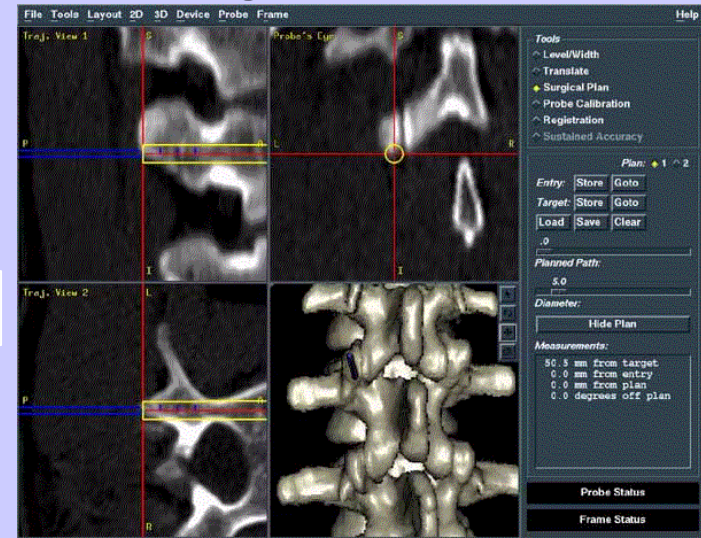


# A system for spinal endoscopy



Human Machine Interface

## Cognitive Unit



Integrated Tool

Mechatronic Endoscope

**Patient**  
(with localization sensors)



Information Society  
Technologies

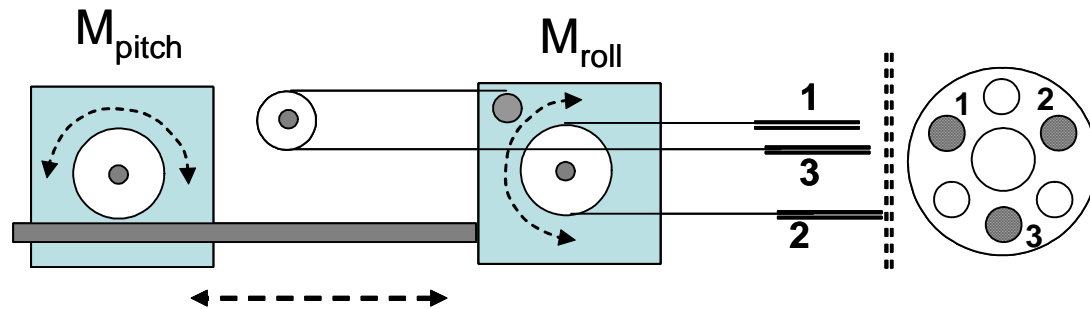
# The MiNOSC robotic endoscopic platform



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.



Future and Emerging  
Technologies

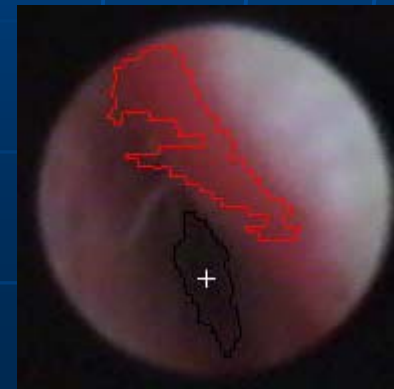
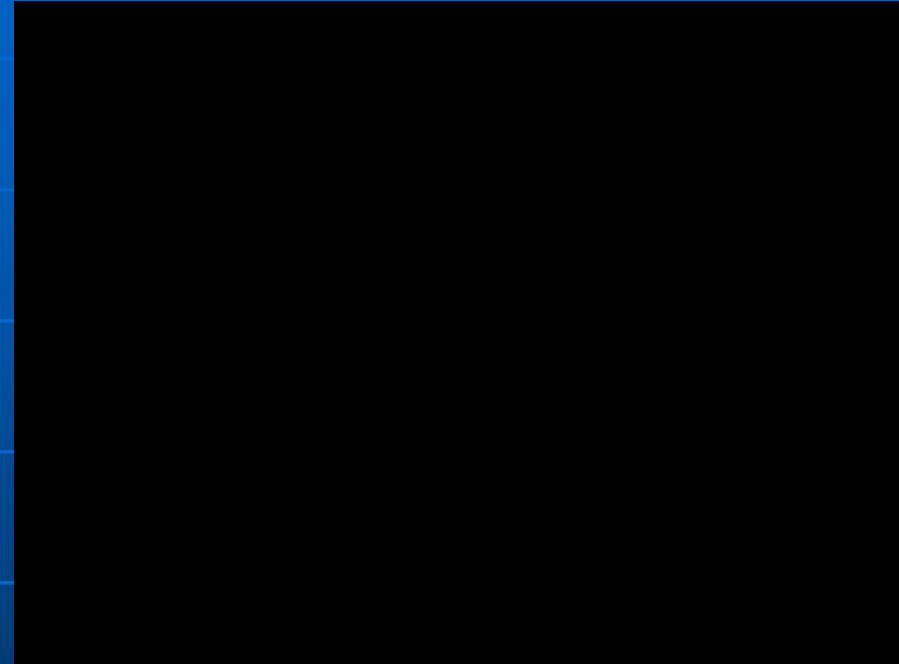
Neurobotics - The fusion of Neuroscience and Robotics, FP6-IST-001917  
([www.neurobotics.info](http://www.neurobotics.info)). A project funded by the Future and Emerging  
Technologies arm of the IST programme



# 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



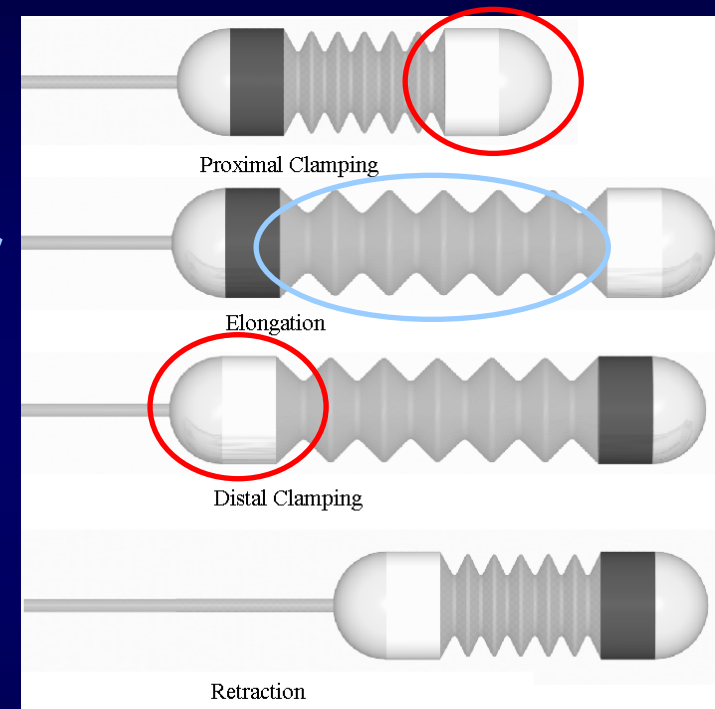
# “Inchworm” locomotion



Distal clamber

Central elongator

Proximal clamber



## Typical colonoscopy prototype

Diameter : 24 mm

Retracted Length : 115 mm

Elongated Length : 195 mm

Stroke: 80 mm

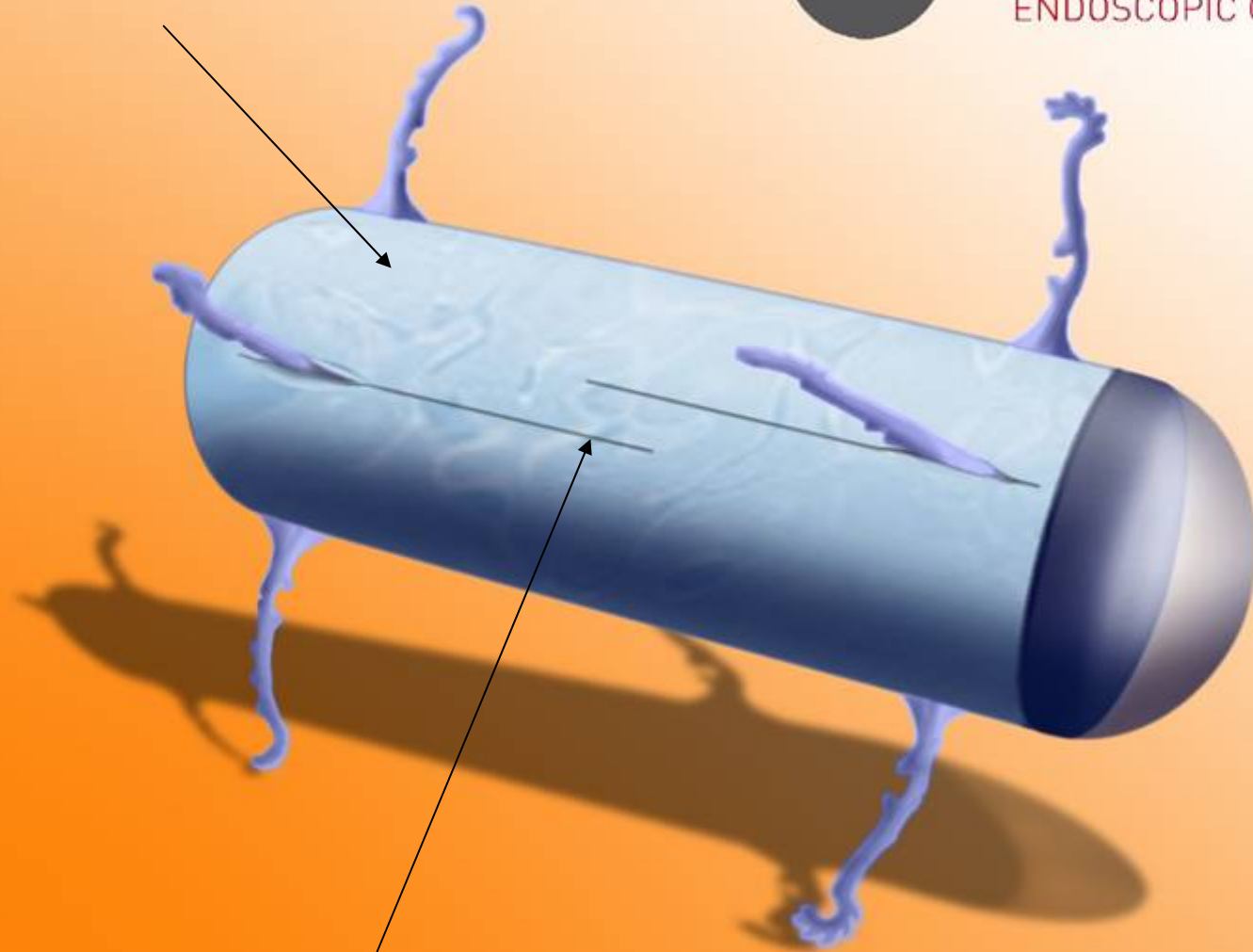
# Una capsula robotica per esplorare il corpo umano

Scuola Superiore Sant'Anna,  
Pisa



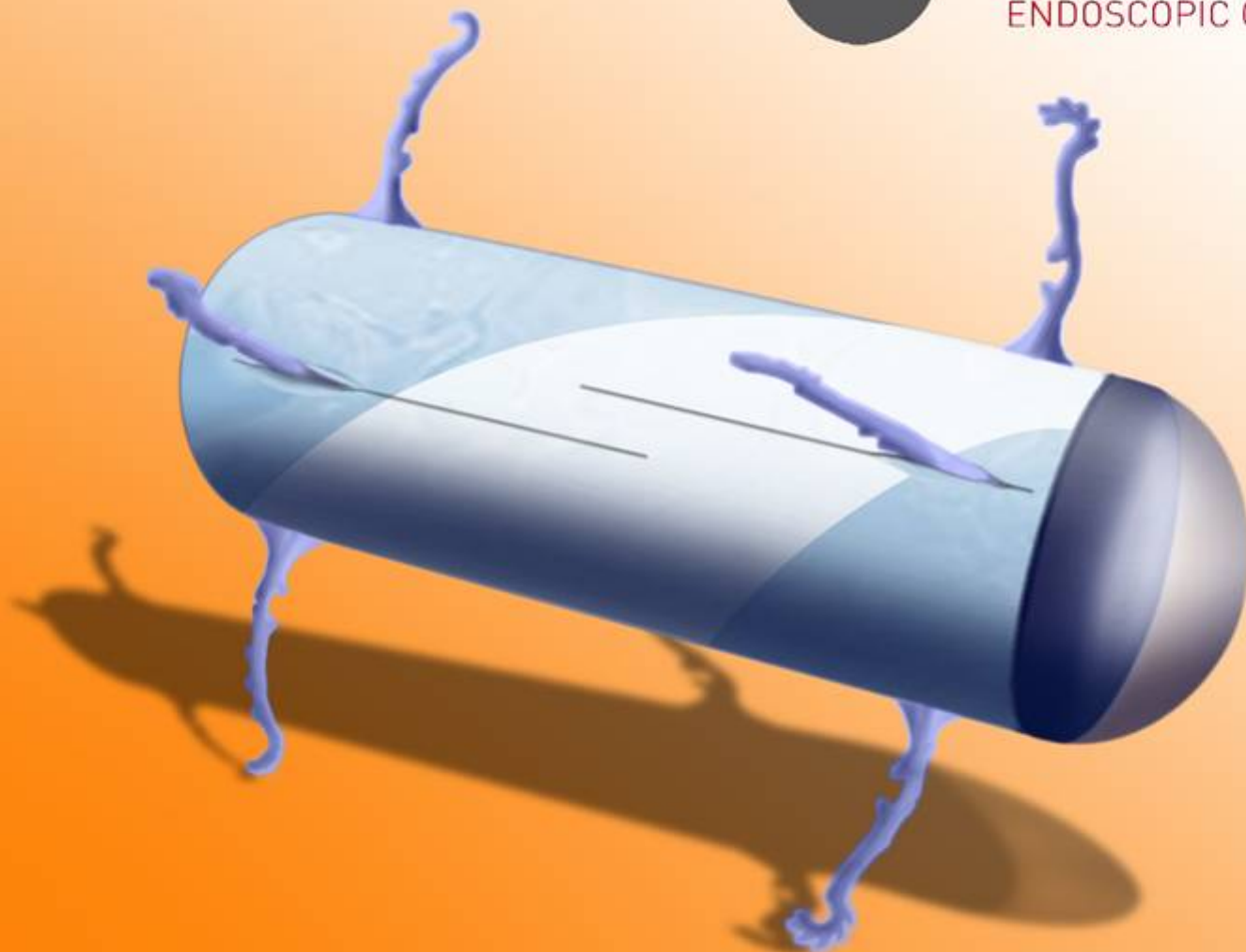
COLON

Rivestimento del tronco con materiale morbido



Tagli ricavati sul materiale di rivestimento

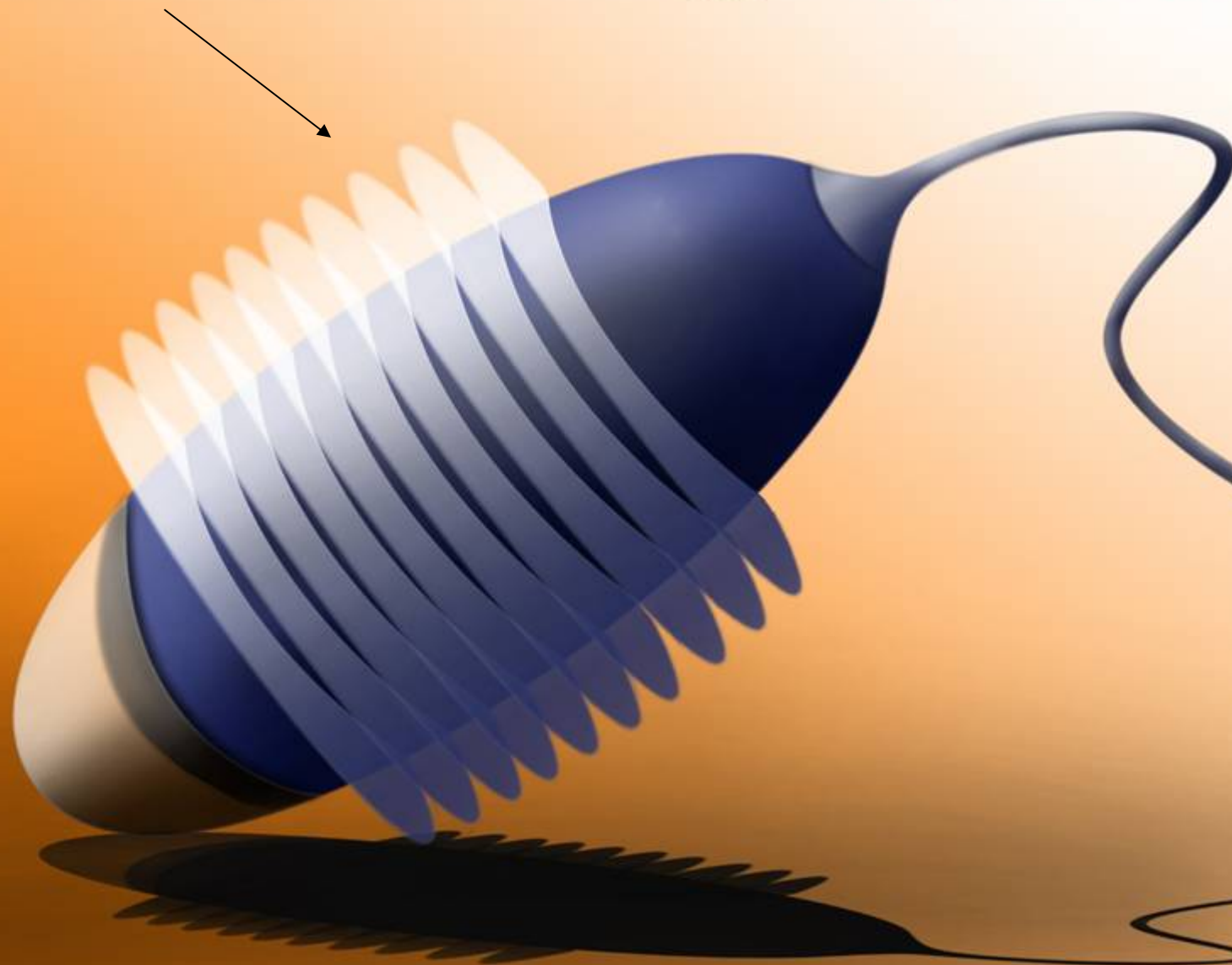
COLON



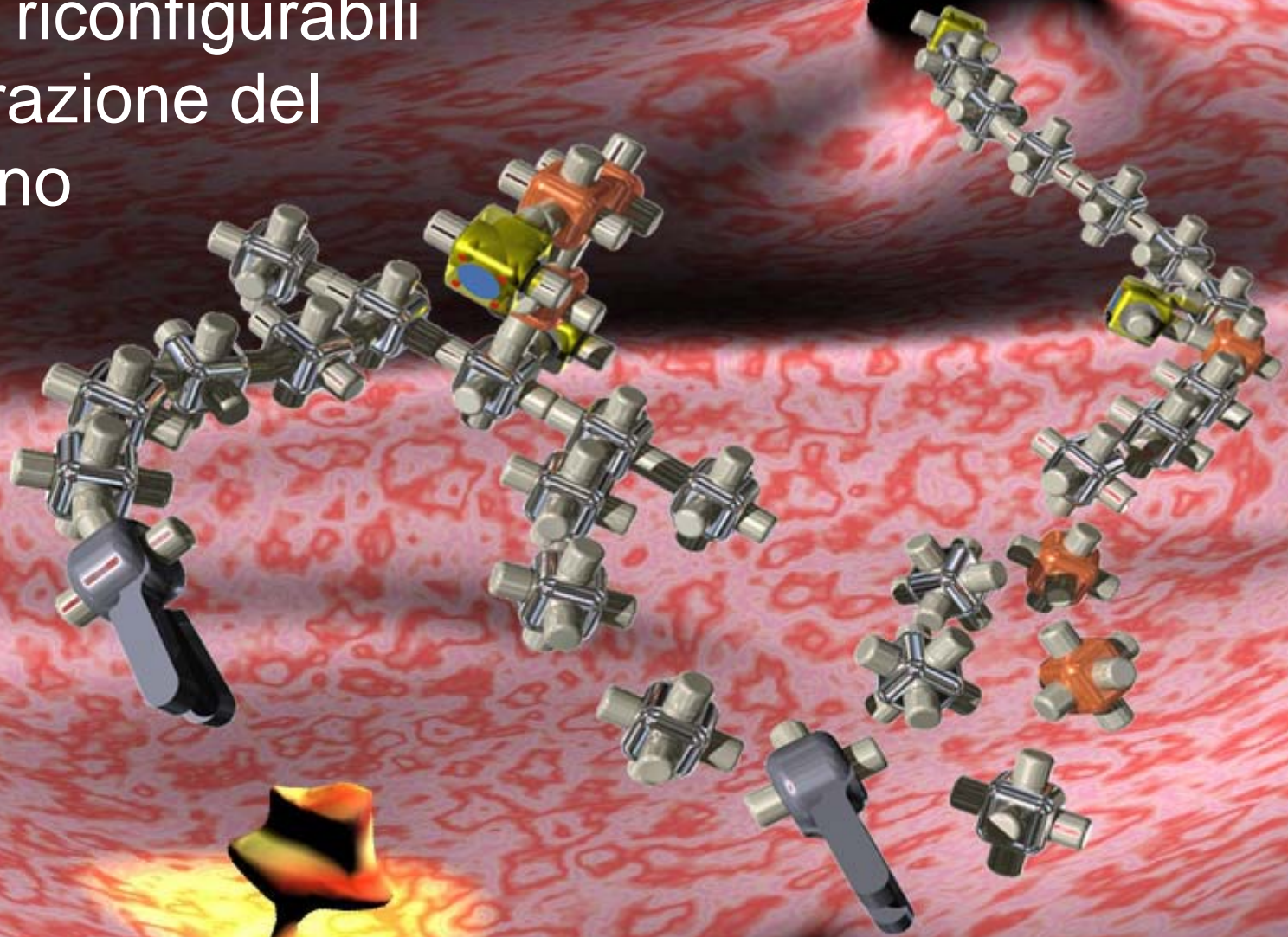
GASTRO

Soluzione per il rallentamento:  
struttura lamellare; materiale  
morbido (es. gomma)

 **VECTOR**  
ENDOSCOPIC CAPSULE



# Microrobot riconfigurabili per l'esplorazione del corpo umano

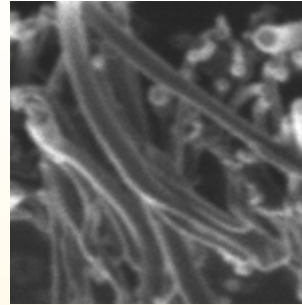


**Scuola Superiore Sant'Anna,  
Pisa**

# A prototype cellular vector

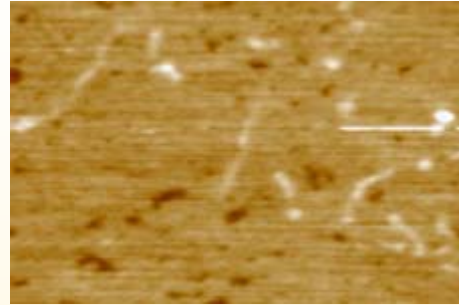
What is a cellular vector?

Images acquired at the CRIM Lab



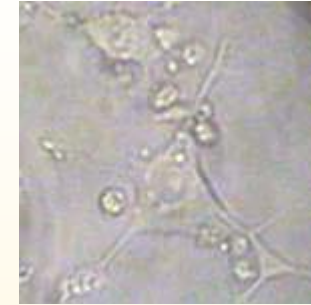
FIB image of CNTs

+



AFM image of plasmids

+



Optical image of a cell

= ?

• It is basically a nano-device composed by:

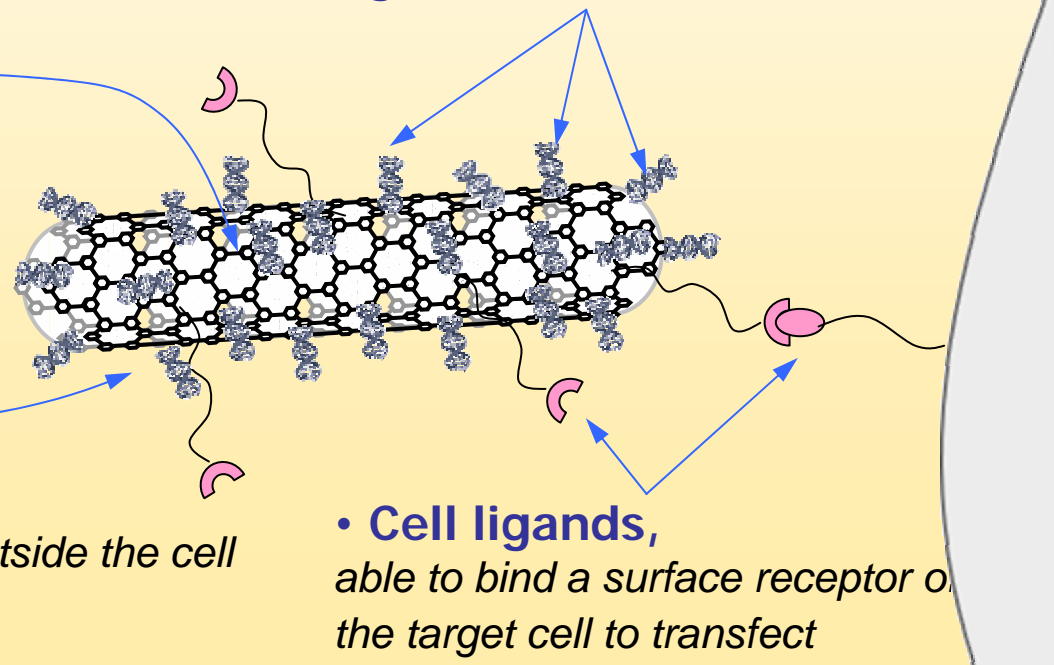
**An artificial carrier**

*e.g. a nanoparticle, a nanoshell, a nanosphere, a carbon nanotube, etc..*

**A coating**

*able to dissolve intra or extra-cellularly, depending if the drug release is inside or outside the cell*

• **Drugs**, e.g. genes for cell transfection

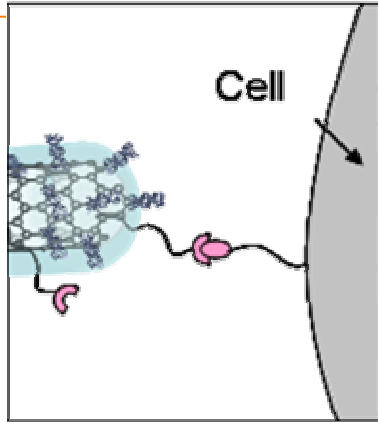


• **Cell ligands**,

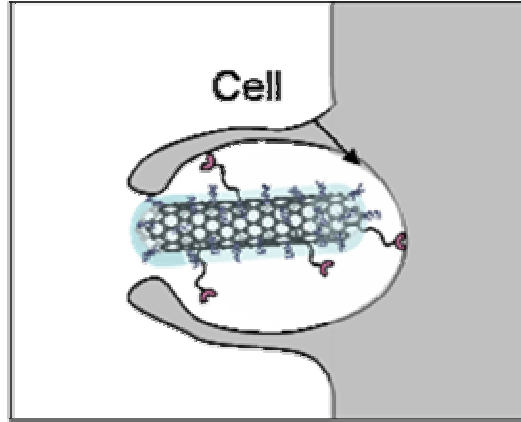
*able to bind a surface receptor on the target cell to transfect*



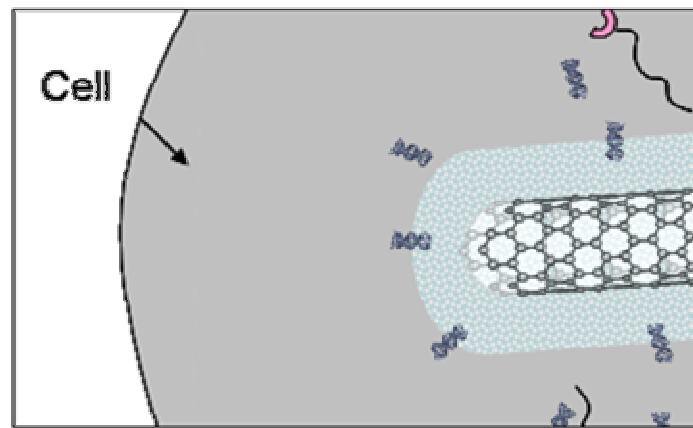
# Cell Transfection \_ via Cellular Uptake



The cellular vector binds the target cell

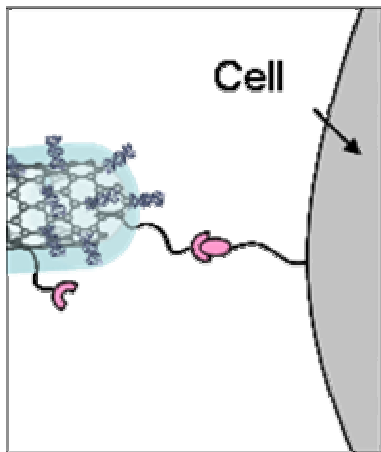


The cell phagocytoses the vector

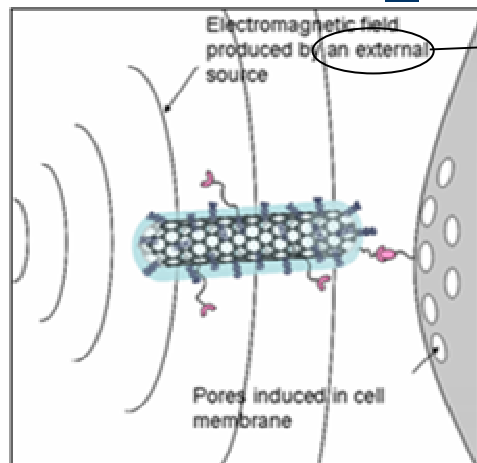


The vector has been up-taken by the cell: the coating dissolves and the genes are released

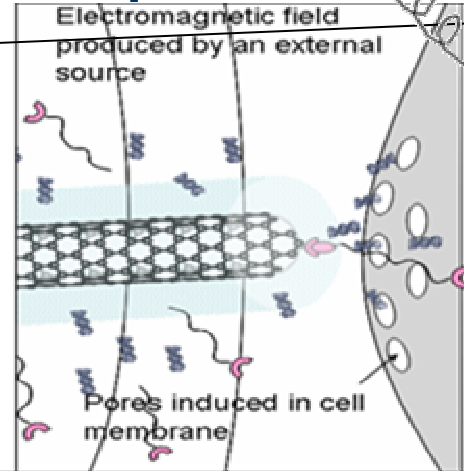
# Cell Transfection \_ via Electroporation



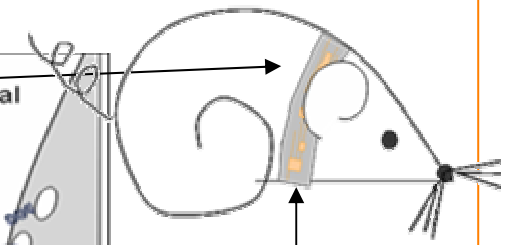
Cellular vector – cell binding



Cell electroporation via the cellular vector



The coating dissolves, genes are released and diffuse across the pores



External source

