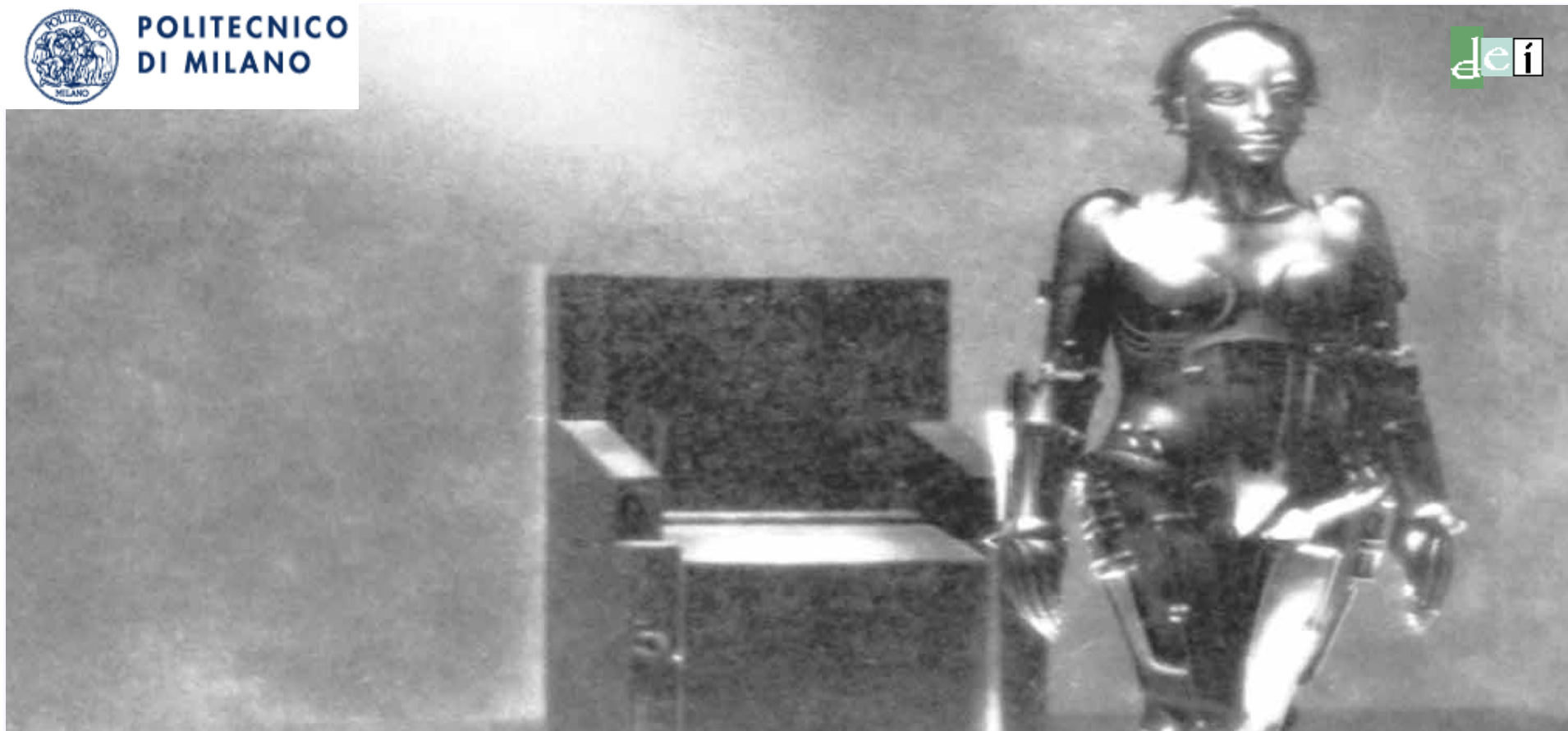




POLITECNICO
DI MILANO



070342 – Robotica

<http://home.dei.polimi.it/gini/robot/>

Sistema robot e robotica
Meccanica

Industrial robot - ISO

- Un **robot** è un *manipolatore multifunzionale* *riprogrammabile*, *comandato automaticamente*. Un robot deve avere *tre o più assi*. Può essere fisso oppure spostarsi su carrello o rotaia.
- Un **robot mobile** è un sistema in grado di spostarsi in ambienti più o meno strutturati tramite vari apparati di locomozione (ruote o zampe). Di solito questi robot sono dotati di sensori che permettono di esplorare l'ambiente.



Classificazione secondo applicazioni

- **Industriali**
saldatura,
verniciatura,
montaggio ed assemblaggio,
manipolazione,
guarnizione e sigillatura,
packaging (es. alimentare),
trasferimento fra
isole/linee/magazzini,
assistenza allo stampaggio o
forgiatura,
taglio laser 3d,
controllo qualità con sensori,
fonderia (manipolazione,
rimozione forme di colata,
sbavatura
chimica combinatoria
laboratorio analisi
- **applicazioni speciali**
applicazioni chirurgiche
(endoscopiche,
microchirurgiche,
telechirurgiche, etc.),
per medicina (robot mobili per
assistenza con manipolatori
specali)
spaziali,
sottomarine
nucleari (prevenzione ed
emergenza),
militari (veicoli robotizzati,
geologiche (esplorazione),
archeologiche,
sicurezza impianti (robot e
manipolatori per ambienti
ostili/esplosivi),
Sminamento
movimento terra
costruzioni

Classificazione secondo mobilità



fissi
mobili
su rotaie
su ruote
su cingoli
su zampe ...

secondo tipologia articolazioni,

cartesiani
cilindrici
sferici
“scara”
articolati
a 3 dof, a 4 dof, a 5 dof, a 6 dof, oltre 6 dof
composti (es. antropomorfi)

secondo topologia parallela/seriale,

paralleli
seriali
(ibridi/composti)

Classificazione secondo precisione

alta precisione e ripetibilità (robot cartesiani, robot paralleli.
Per lavorazioni e saldature miniaturizzate)

media precisione (es: per manipolazione, montaggio)

bassa precisione (robot articolati con molti d.o.f., es. per
packaging, verniciatura. Appl.biomecc.)

secondo velocità

robot lenti, per operazioni con precisione elevata e
movimenti CP

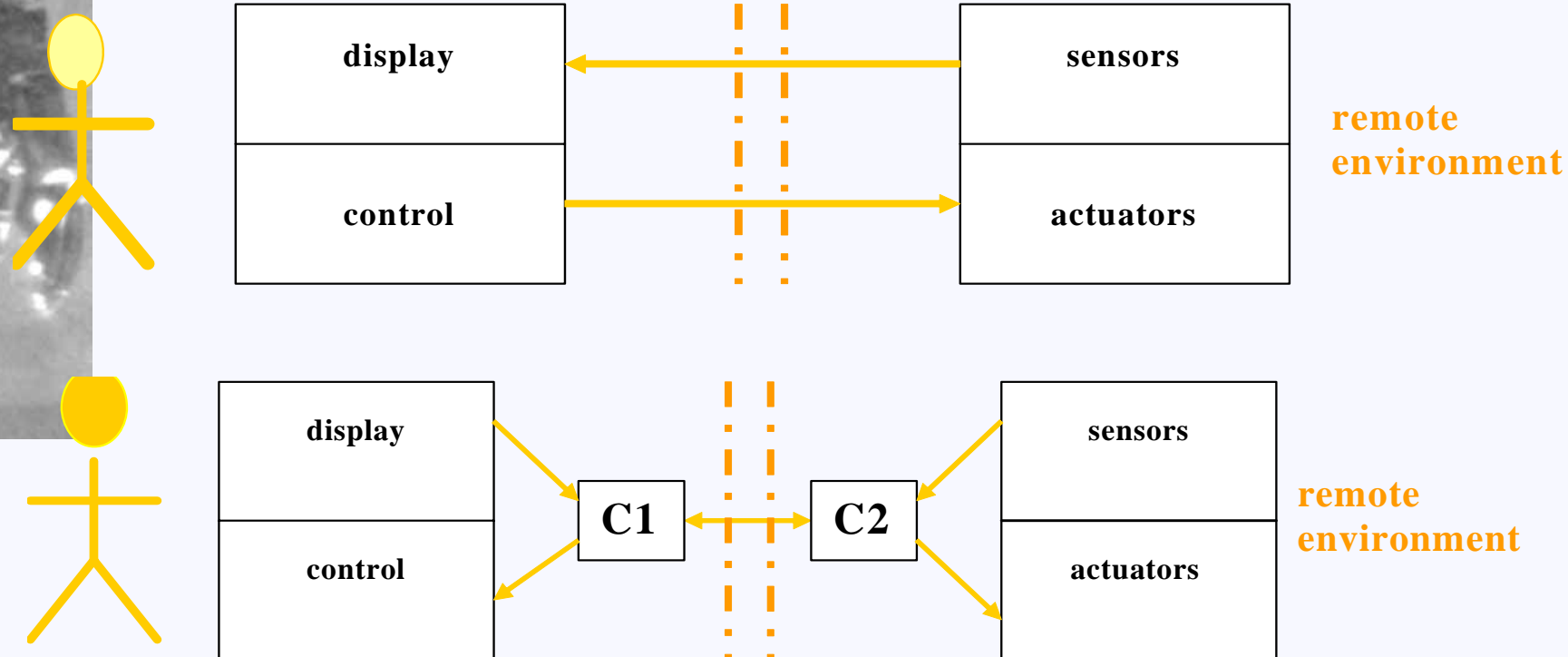
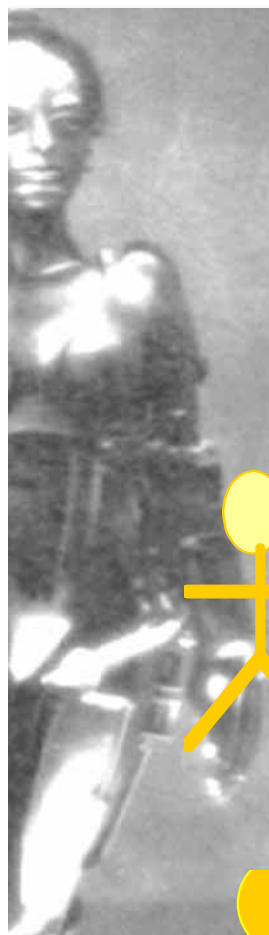
robot rapidi (es. per packaging, con controllo PTP).

secondo grado evolutivo

- da associazione Robotics Usa
 - 1-robot “playback”
 - 2-robot programmabili (comportamento condizionale, I/O)
 - 3- robot con riconoscimento visivo
 - 4- robot con AI e reti neurali



Utente e mondo



- **C2** robot controller
- **C1** user interface controller



Un robot è più di un insieme di componenti

- MECCATRONICA o ROBOTICA
 - Mind-body, function-organ
- OLTRE LA MECCATRONICA
- Architettura, funzioni parallele, sistema modulare, estendibilità, apprendimento, ...

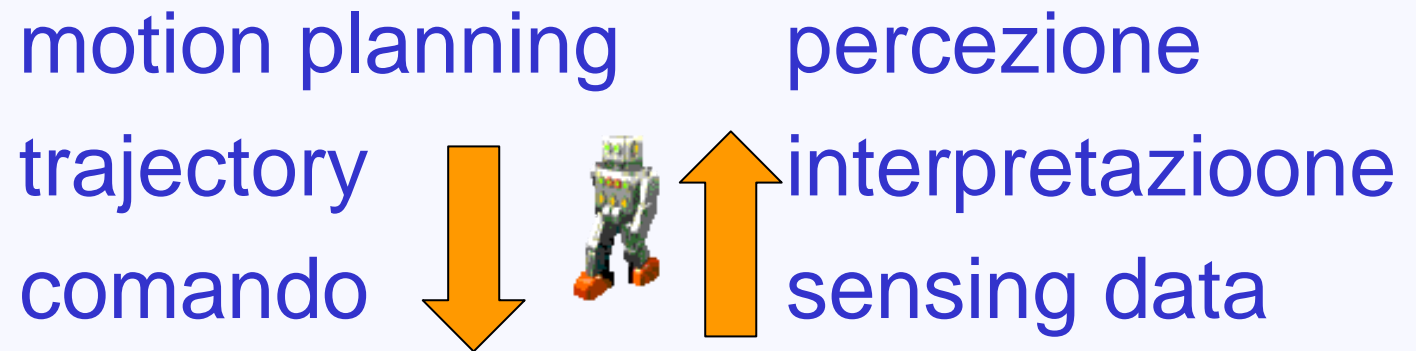
Robot come embedded system

- **controllore on-board**
 - Analog and digital i/o, connection to actuators, sensors, etc.
 - real-time OS
- **No standards universali**
 - Microsoft

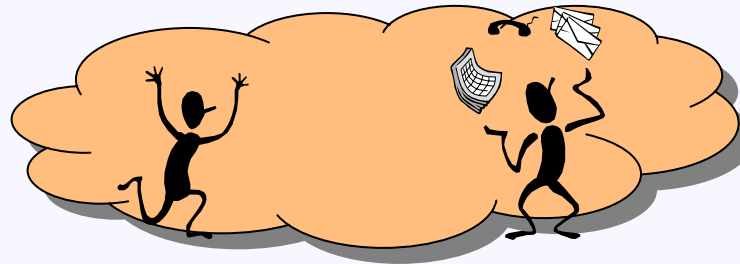


Robot vs robotica

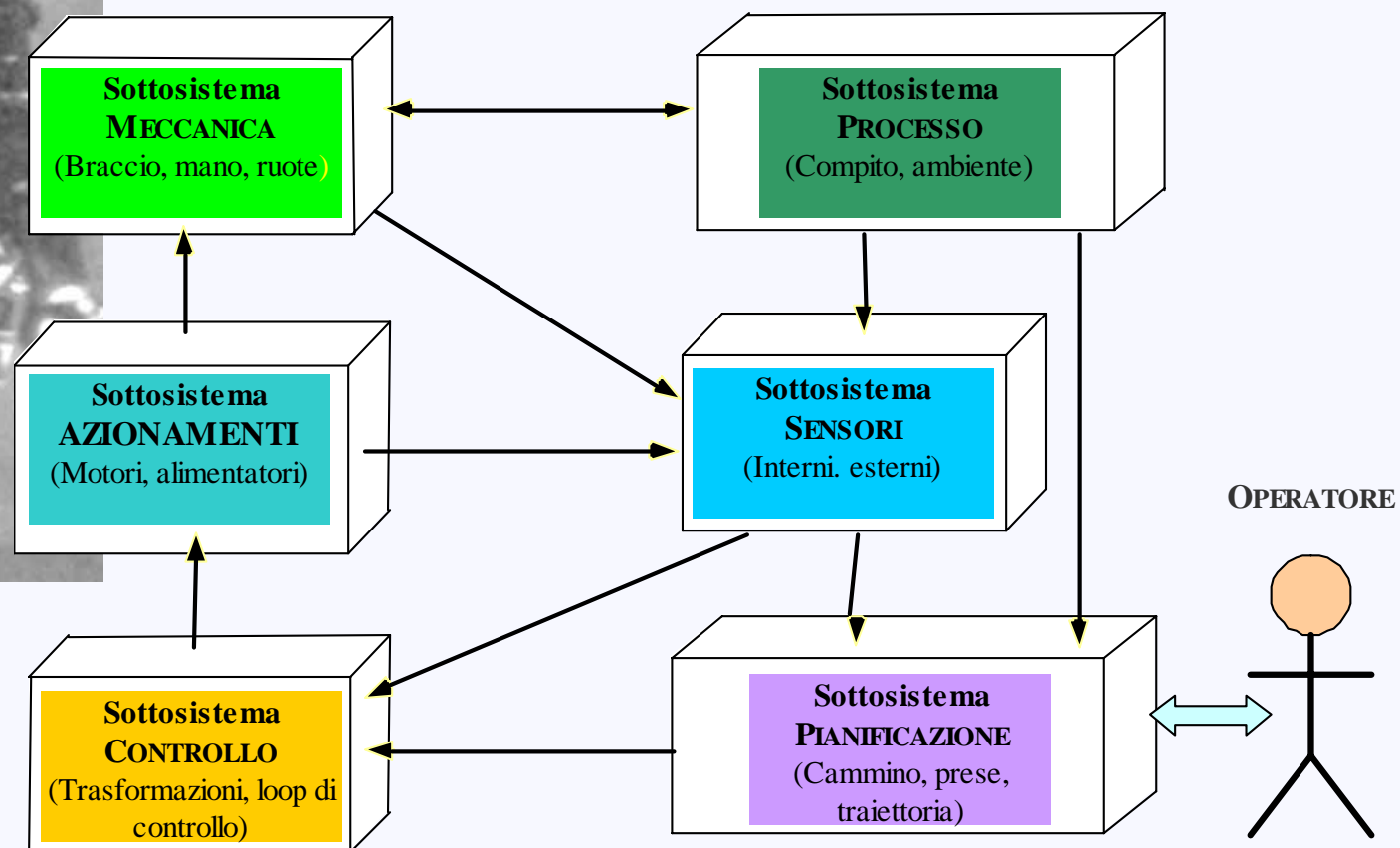
- Robotica è coordinare in maniera efficace percezione e azione



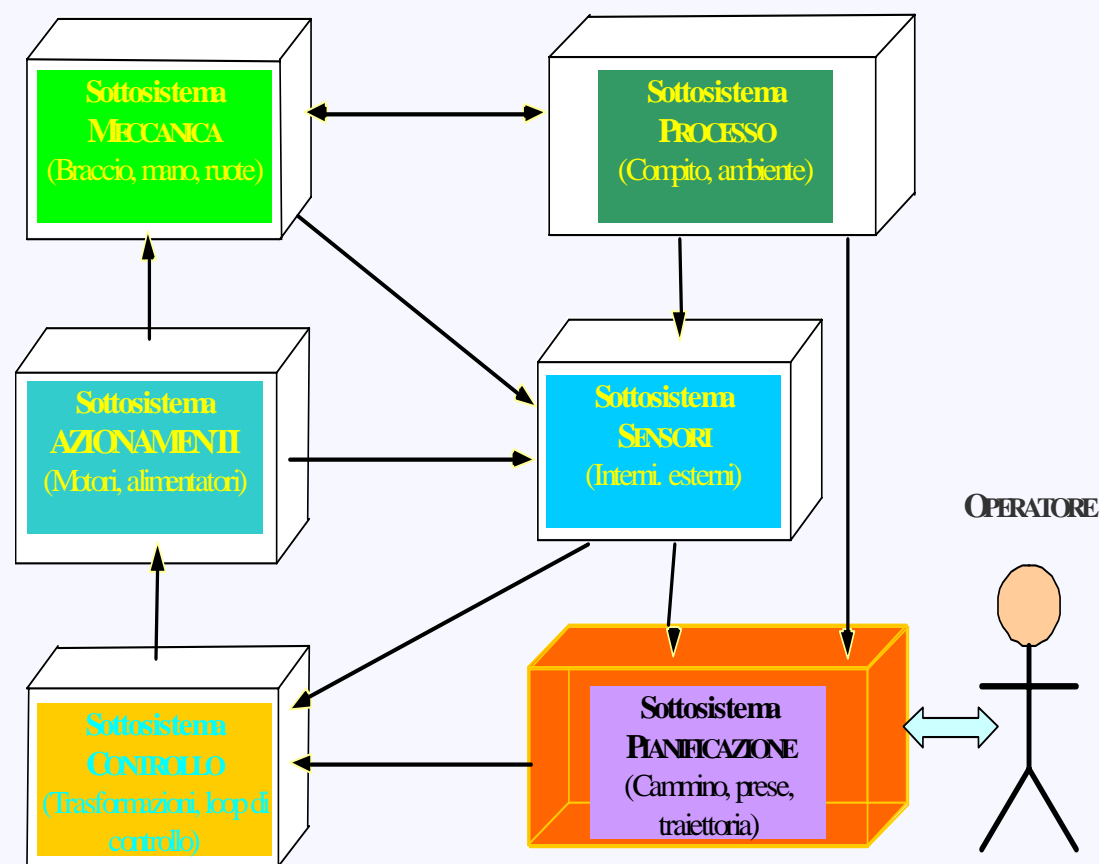
Physical level



sistema robot

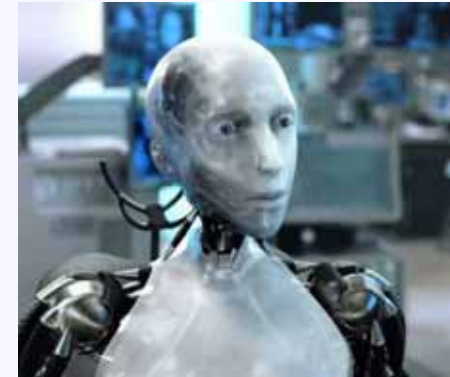
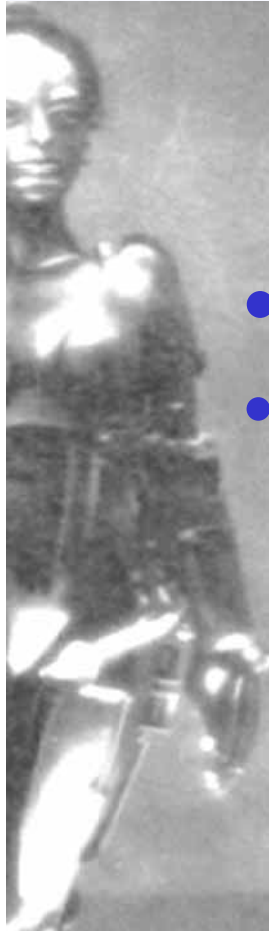


Pianificazione e programmazione



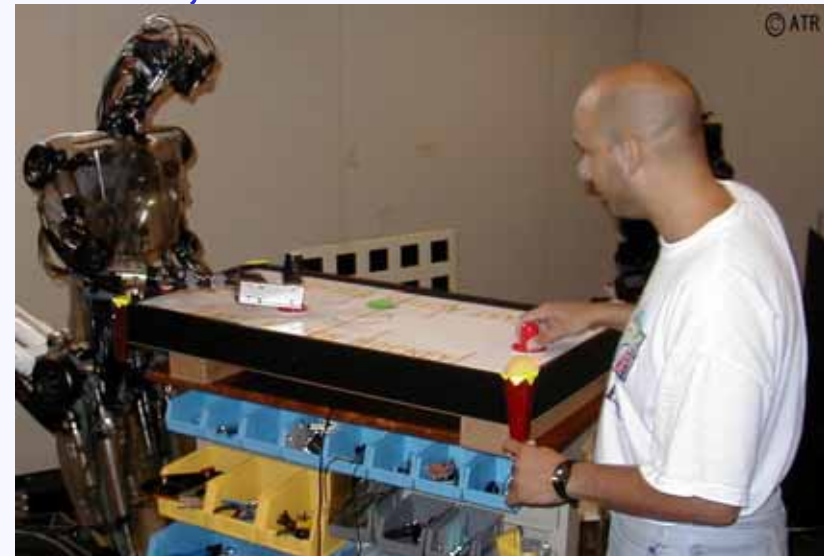
Robot come agente

- AI e agenti fisici
- Agente
 - usa sensori per costruire un modello in una teoria delle percezioni
 - se percepisco qualcosa, esso esiste
 - modella oggetti, eventi, situazioni
 - costruisce **piani** = sequenze di azioni motorie e percettive per raggiungere uno scopo

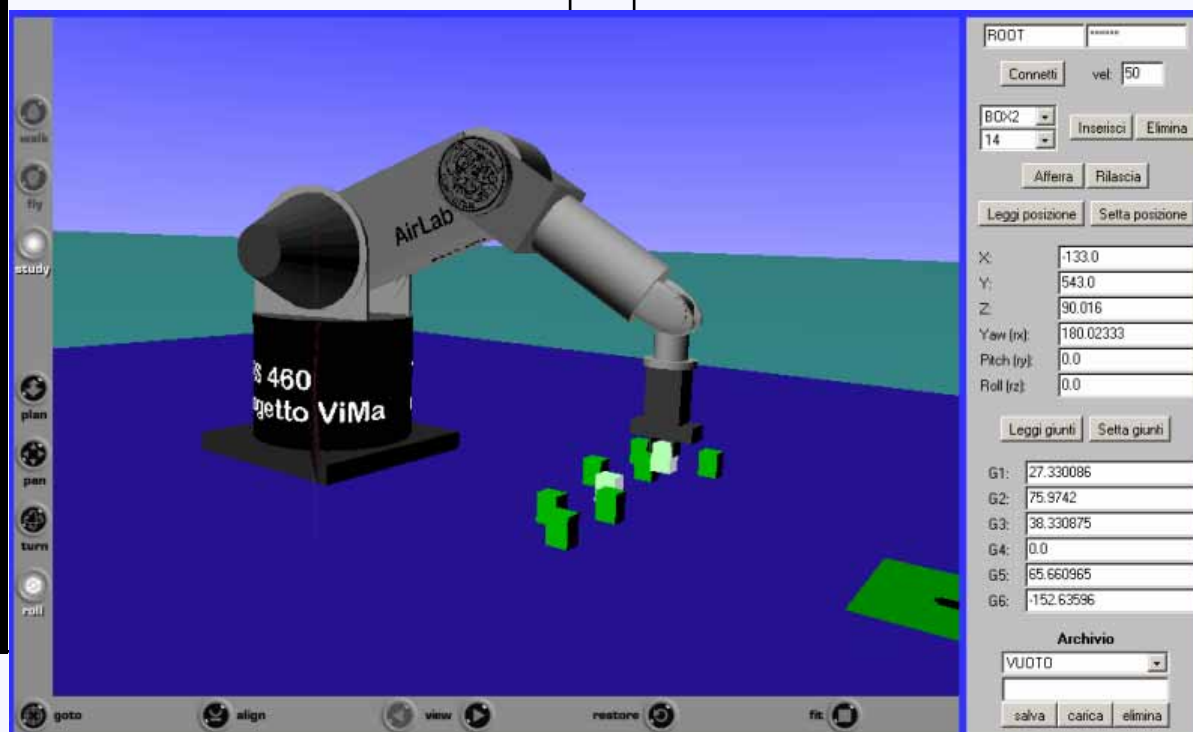
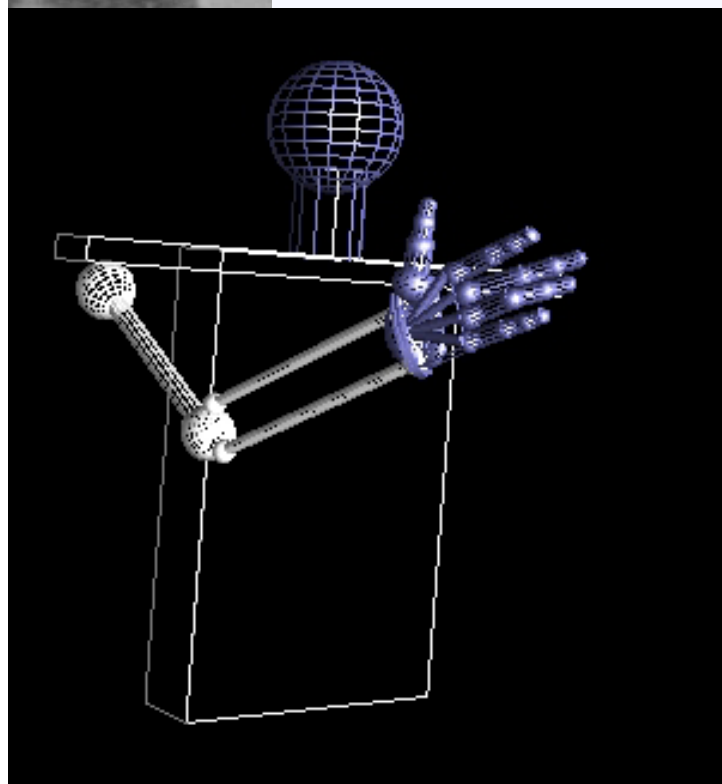


programmazione

- Soluzione pratica: un programma indica le azioni al robot e tiene sotto controllo gli aspetti rilevanti del mondo esterno
- superare la programmazione: esempi, interfaccia grafica, linguaggio parlato, ...



teleprogramming



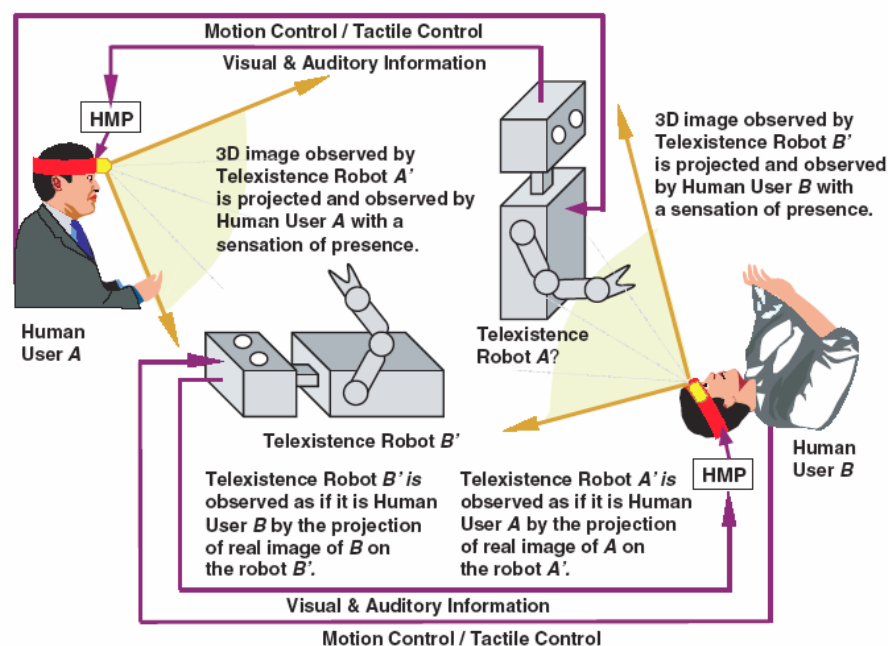
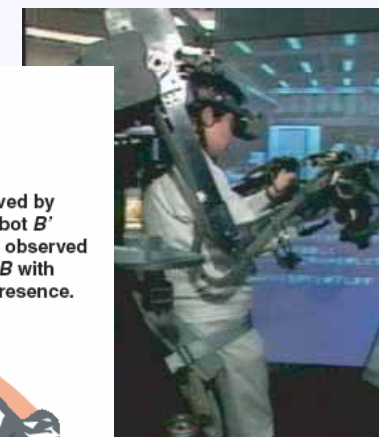
comportamenti

- azioni sensoriali ed azioni motorie sono collegate
 - non occorre un sistema gerarchico ma distribuito
 - non occorre una memoria simbolica e centrale
 - non occorre ragionamento simbolico

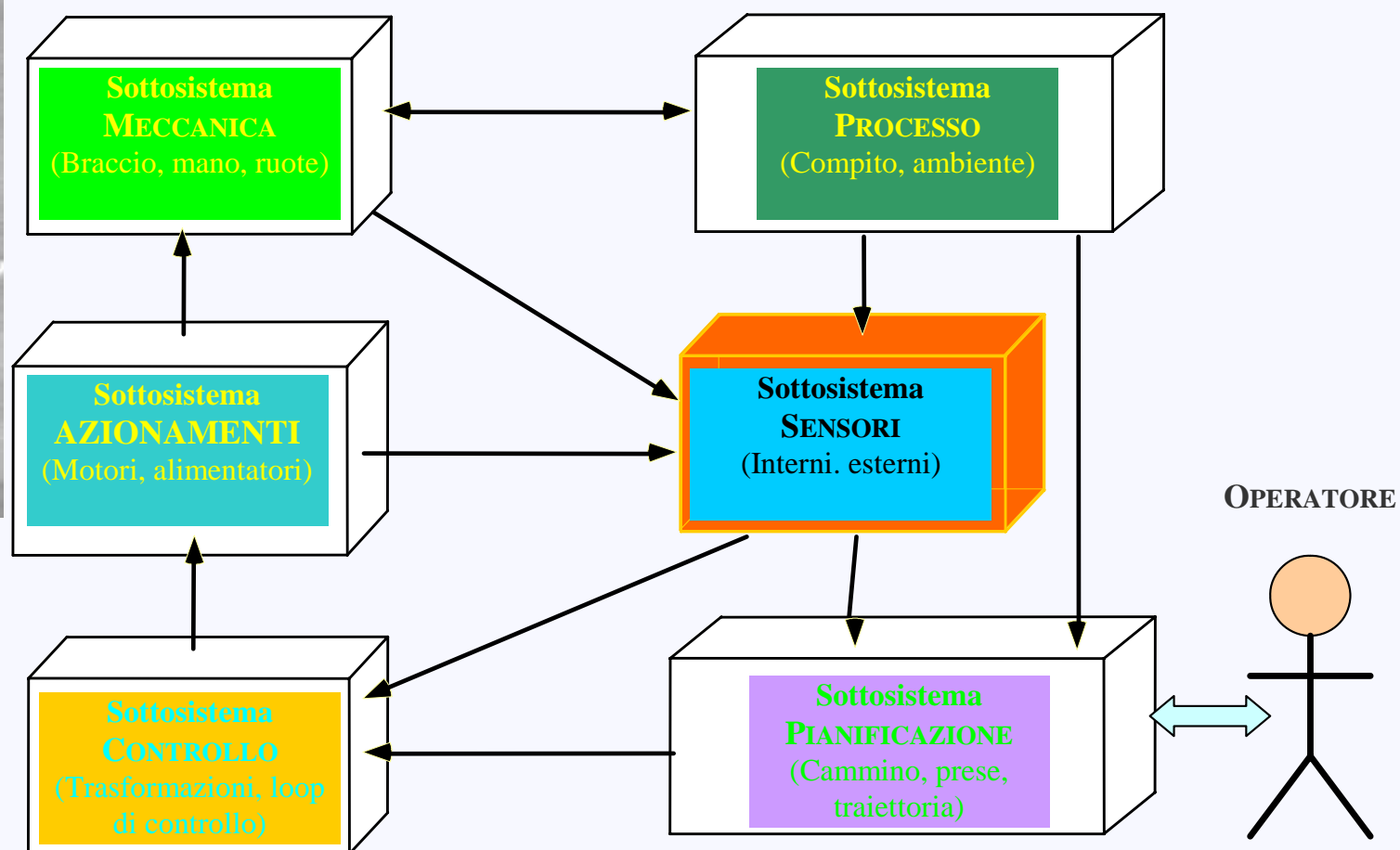


Interfaccia con umani

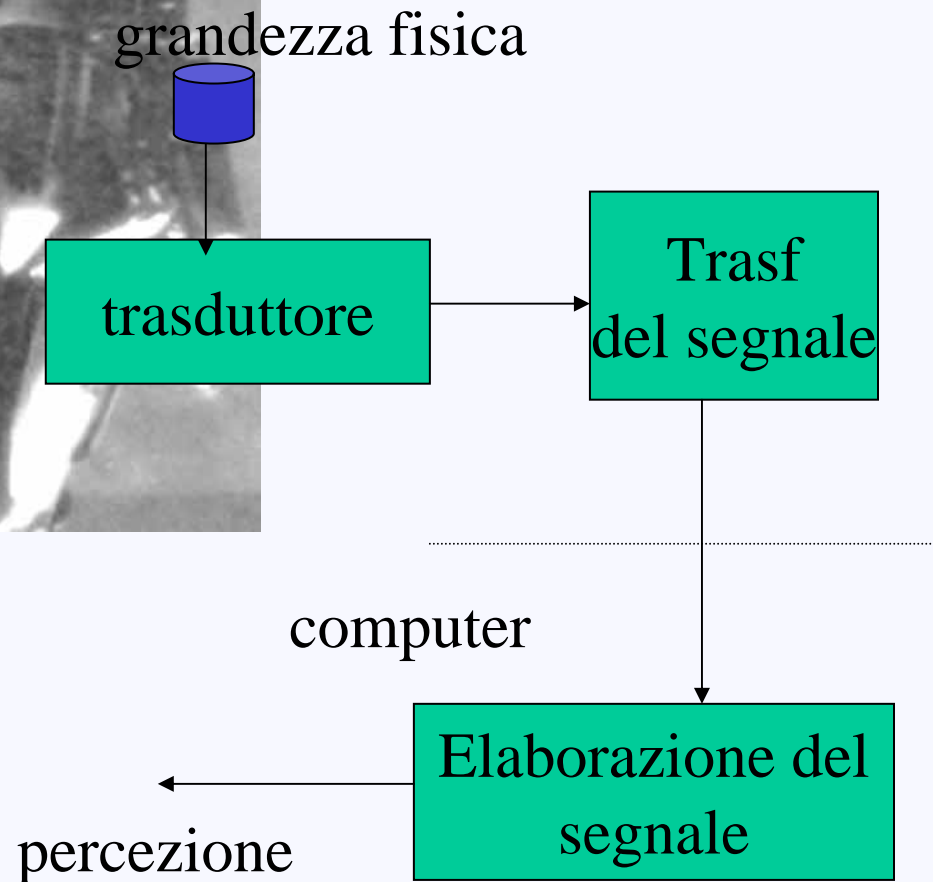
- Telecontrollo
- Teleprogrammazione
- Autonomia:
 - comportamento proattivo



sensori



sensori



- Misurare i parametri del robot
- trovare oggetti
- rilevare collisioni
- monitorare le interazioni con l'ambiente
- monitorare l'ambiente
- ispezionare il risultato del processo

I livelli dei sensori

- **livello percettivo**
 - stato del mondo
 - conseguenza delle azioni
- **livello del modello**
 - formazione del modello geometrico
 - fusione sensoriale
- **livello della misura**
 - conversione del segnale
- **livello fisico**
 - trasduttore

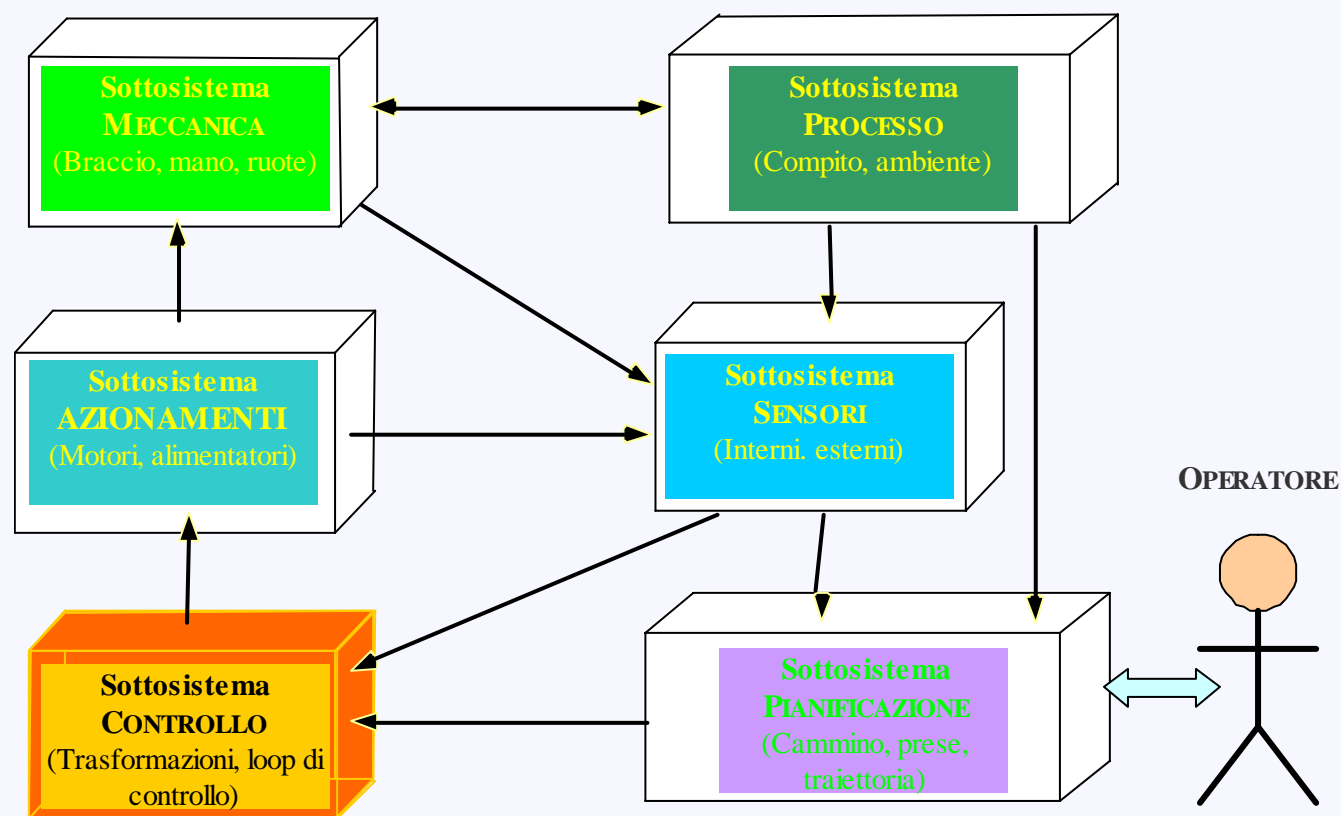


I sensori nei sistemi biologici

- Collegati ai comportamenti, ad esempio
 - imitazione
 - allinearsi nella direzione di uno stimolo
 - cambiare direzione in risposta a uno stimolo
 - cambiare velocità in risposta



Controllo

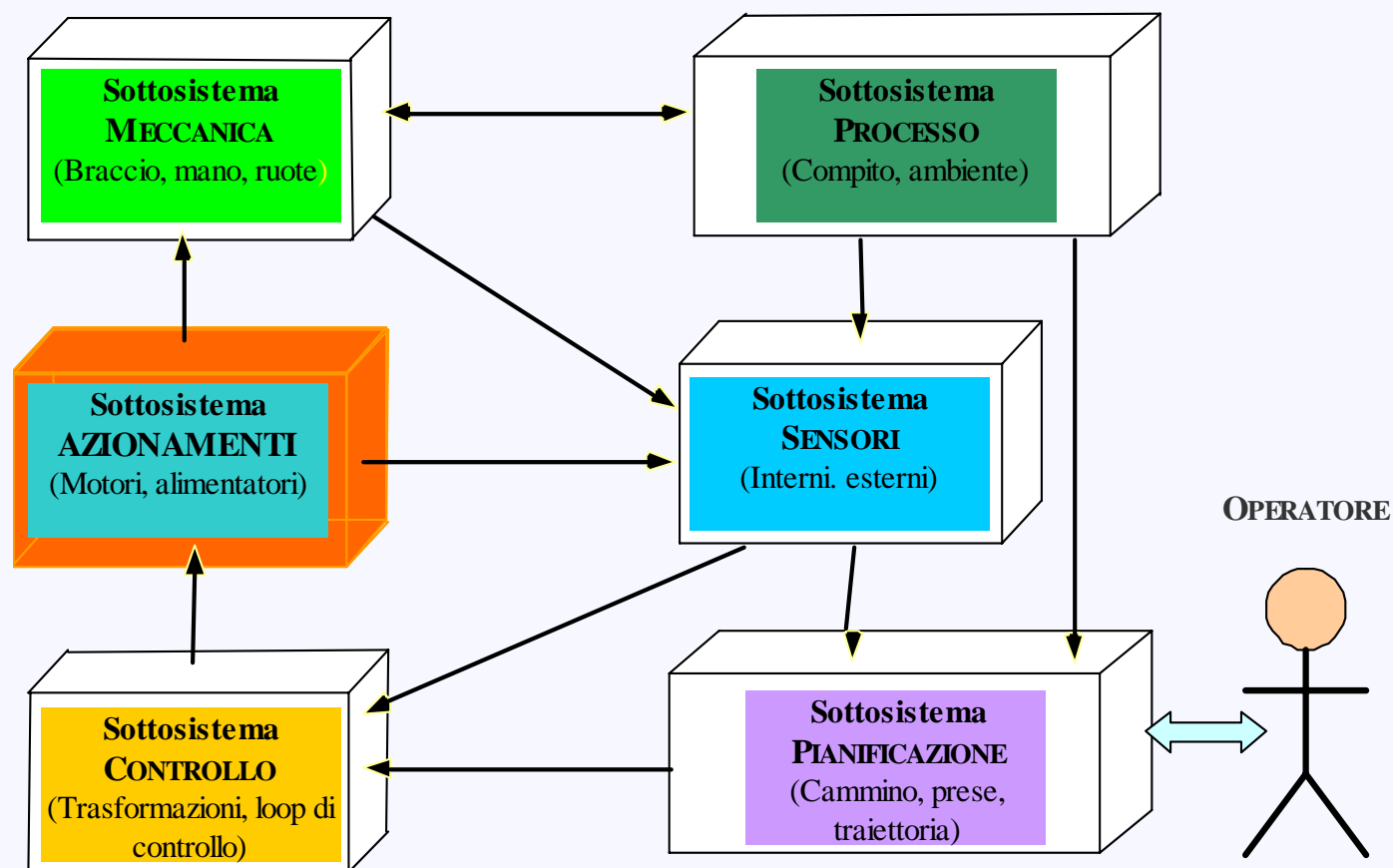


Controllo in posizione o forza

- Nei sistemi industriali occorre ottenere posizionamento preciso - controllo in posizione
 - Diverse tecniche per realizzarlo
 - Interesse per sistemi ibridi posizione/forza
- Nei sistemi autonomi occorre un buon adattamento all'ambiente - controllo in forza
- Nei sistemi naturali il controllo in posizione/forza è integrato nel sistema senso-motorio



Azionamenti e attuatori



attuatori

- Gli attuatori tradizionali hanno elevata rigidità (**stiffness**) all'interfaccia col carico

- **pro** (precisione, stabilità, ...)

- **contro** (ingranaggi ingombranti, problemi di attrito, inerzia additiva, rumore, etc)

- elastici, leggeri

- alti rapporti forza/massa

- potenza/massa



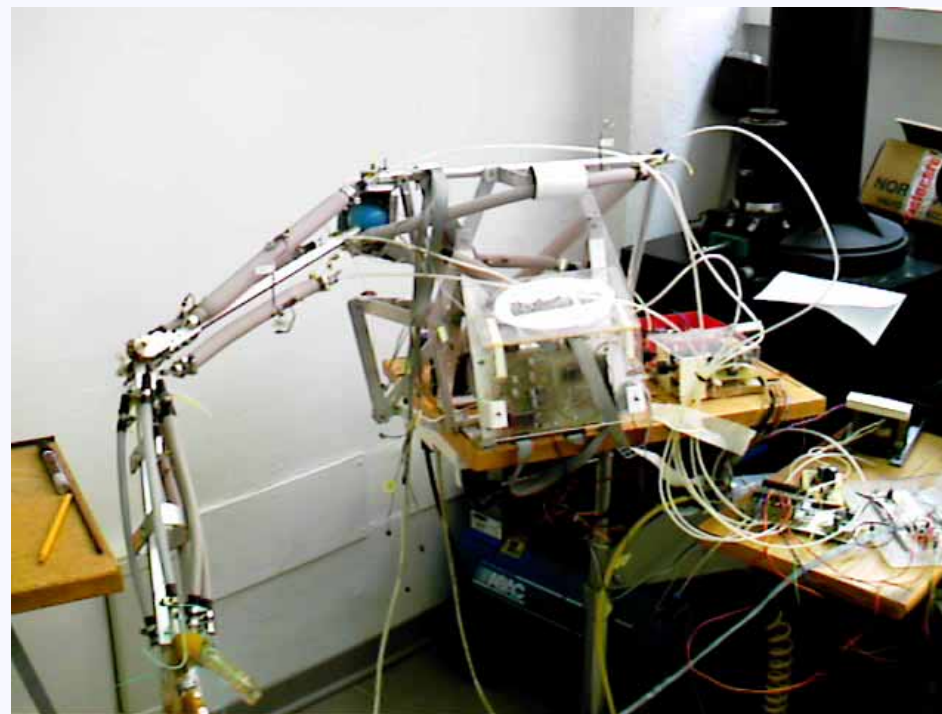
Rigido o flessibile

- La rigidità
 - migliora la precisione di posizionamento e la stabilità, riduce gli errori di posizionamento in presenza di disturbi, ...
- La rigidità ha un costo: i motori elettrici devono andare a grandi velocità per ottenere la potenza necessaria e quindi sono necessari ingranaggi di riduzione.
- Gli ingranaggi introducono attrito, rumore, ...e sono soggetti a forze elevate in caso di carico esterno
 - Lo svantaggio degli ingranaggi è tale che sono stati sviluppati motori direct drive per i robot industriali.
 - Per i robot mobili i motori direct drive non producono una densità di forza sufficiente.



Es: attuatori di McKibben

- Proprietà dei muscoli reali
- Vantaggi: altissimo rapporto forza/peso (10 newton/20 grammi)
- Svantaggi: richiedono aria compressa



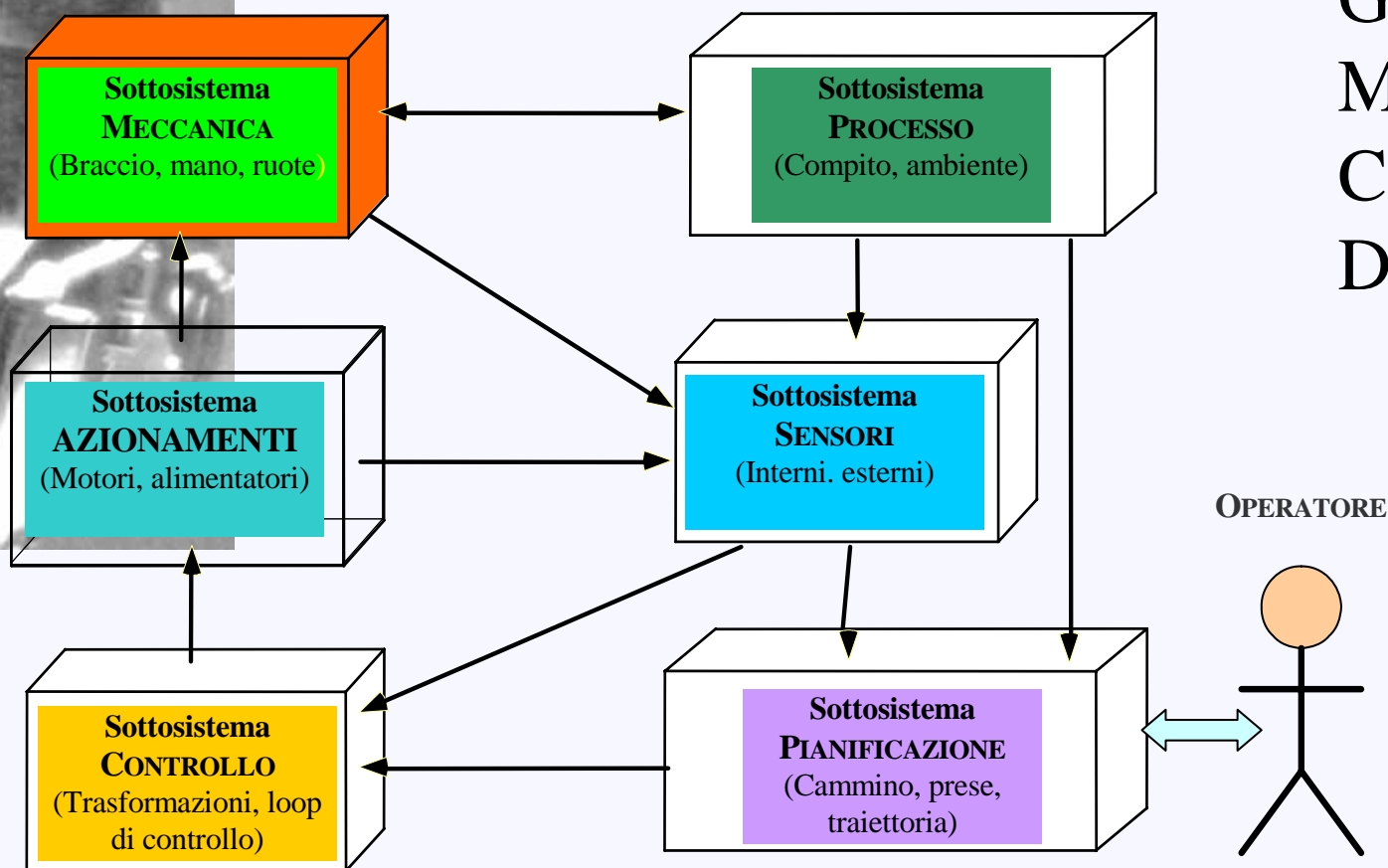
Mobilità di arto umano

- 2 bracci coordinati
- Ognuno con più di 25 gdl e flessibilità
- Coordinati con visione



Meccanica

Geometria
Gradi mobilità
Materiali
Cinematica
Dinamica

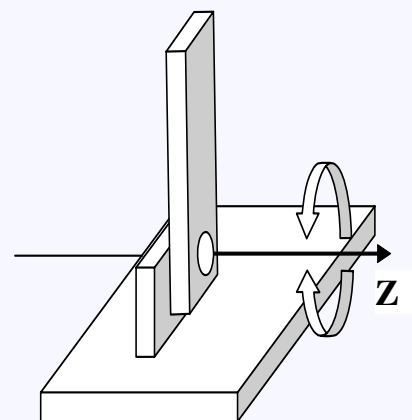
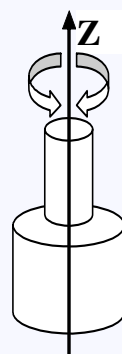


Premesse sulla anatomia dei robot

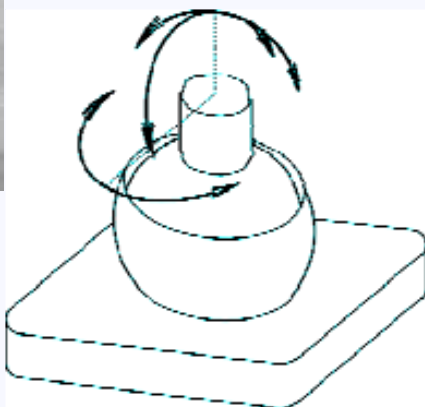
- I robot sono adatti a spostare corpi rigidi
 - Le trasformazioni dei corpi rigidi – che preservano la distanza fra i punti del corpo – sono il modo per descrivere le azioni volute
- I robot sono composti di parti che sono modellizzate come corpi rigidi
 - Le stesse trasformazioni servono per controllare il movimento della struttura



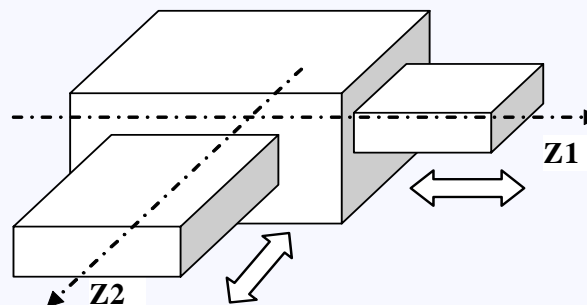
giunti



**GIUNTO di
ROTAZIONE**



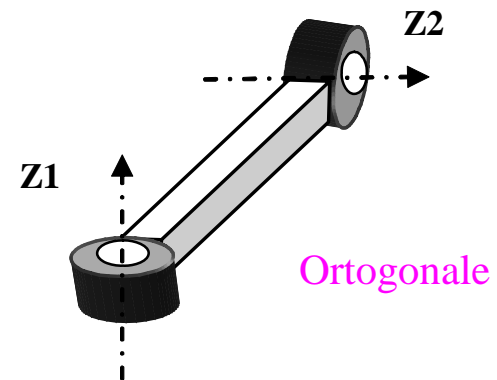
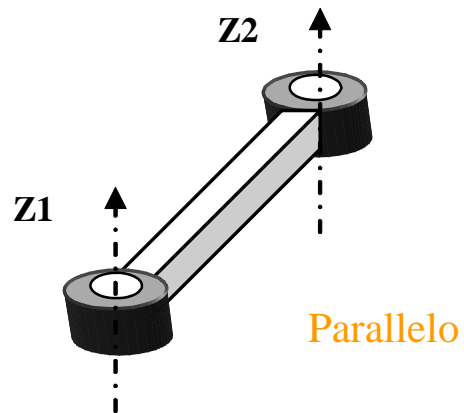
GIUNTO SFERICO - 3 rotazioni



**GIUNTO di
TRASLAZIONE**

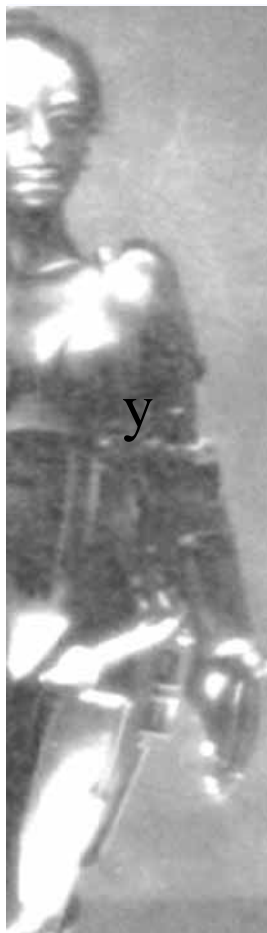
link

- Spesso allungati
- Ogni geometria

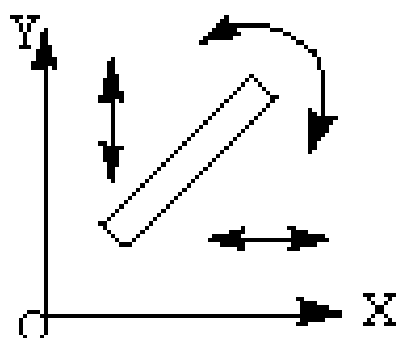


mobilità

- Quanti gradi di mobilità ha un corpo rigido?
- Nel piano, 3 (x, y, θ)
- Nello spazio 6 ($x, y, z, \rho, \theta, \phi$)

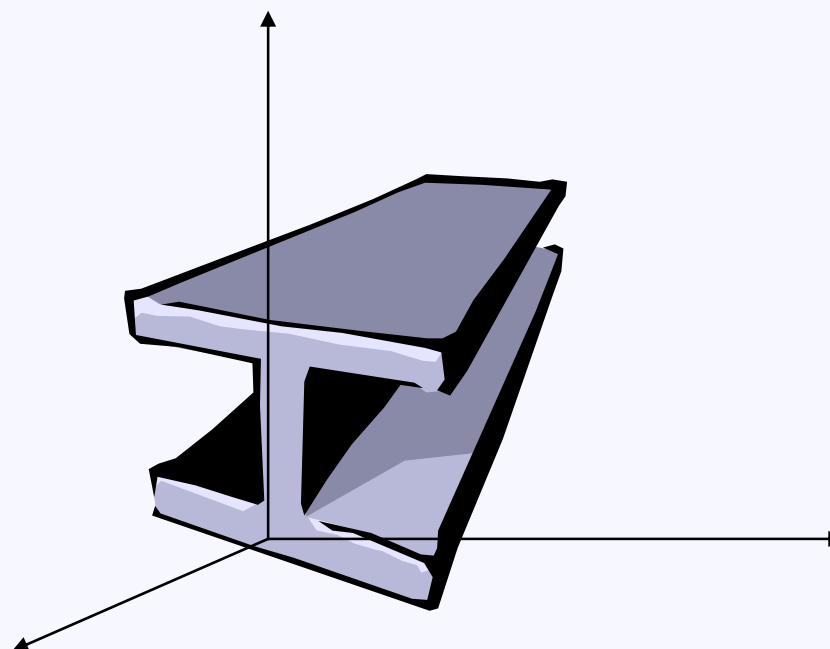


Theta



@ G. Gini 20

X



Mobilità dei meccanismi

Meccanismo = una catena con un link fissato a terra

Quanti gradi di mobilità ha una struttura snodata a N link?

- Ogni corpo ne ha 6, sarebbero $6 \times N$, ma ci sono vincoli che li riducono

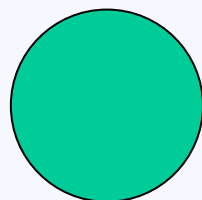
Metodi:

- Criterio operativo
- Criterio di Gruebler

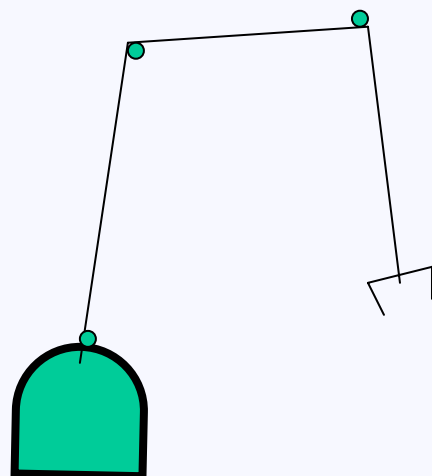


M per strutture semplici

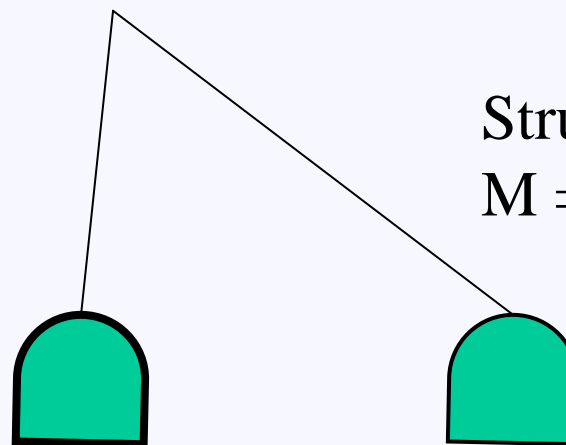
Ruota che rotola: $M = 1$



Struttura seriale planare a 3 link: $M = 3$



Struttura rigida.
 $M = 0$



Gradi di libertà

= numero di variabili indipendenti di giunto che devono essere specificate per definire la posizione di tutti i link della struttura

- Per catena di N link

gradi di libertà = $6N - \text{\#vincoli}$

oppure (Gruebler)

$$M = 3(N-1) - 2\text{\#P1} - \text{\#P2}$$

P1 giunti a 1gdl

P2 giunti a 2 gdl

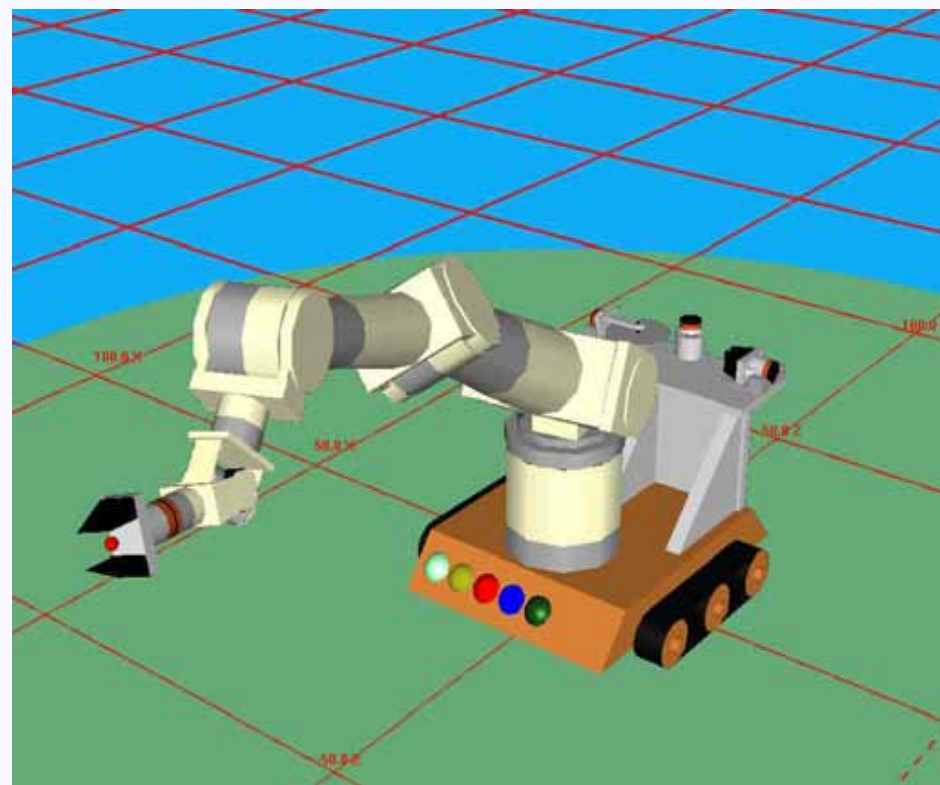


Gradi di libertà e manipolazione

- La necessità di raggiungere i punti di uno spazio a **tre** dimensioni fa sì che un robot debba avere almeno tre **gradi di libertà**.
- La necessità di raggiungere ogni punto con un qualsiasi orientamento rende necessari altri tre gradi di libertà.
- **SOLUZIONE COMUNE:**
 - Tre gradi di libertà per il **braccio**.
 - Tre gradi di libertà per il **polso**.

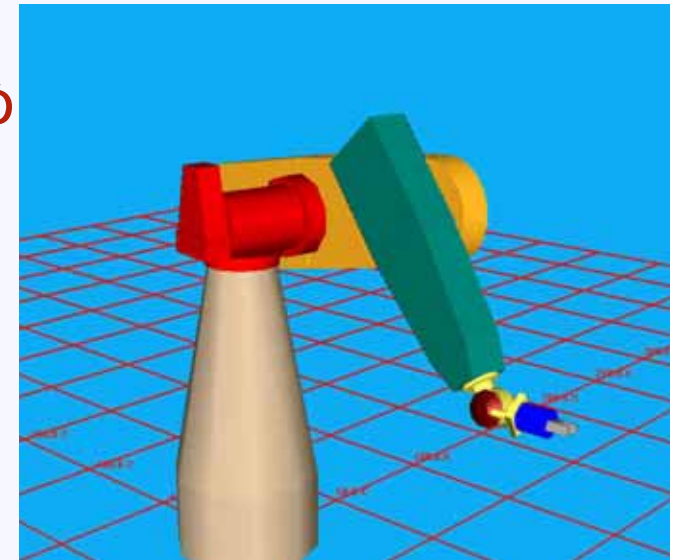
Progettazione meccanica

- Richieste del task
- #gradi di libertà
- Spazio di lavoro
- Cedevolezza/rigidità
- Carico, velocità, accuratezza, ...
 - Esempio a 10dof



classificazione geometrica dallo spazio di lavoro

- Un manipolatore è
 - Catena aperta sequenziale
 - 6gdl
 - Nei robot industriali può averne meno
 - Per migliori prestazioni può averne di più
- Lo spazio di lavoro ha caratteristiche utili per certi compiti



Spazio di lavoro

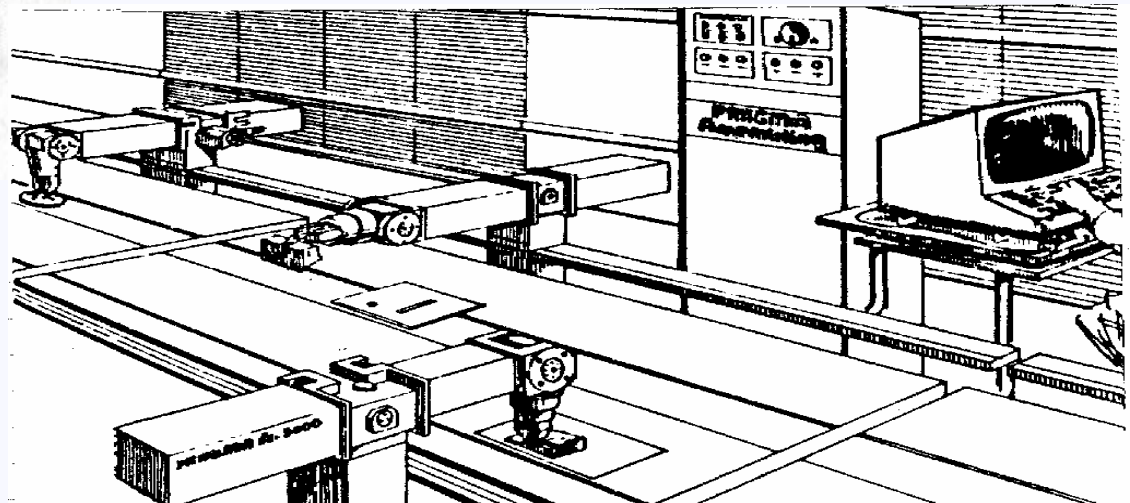
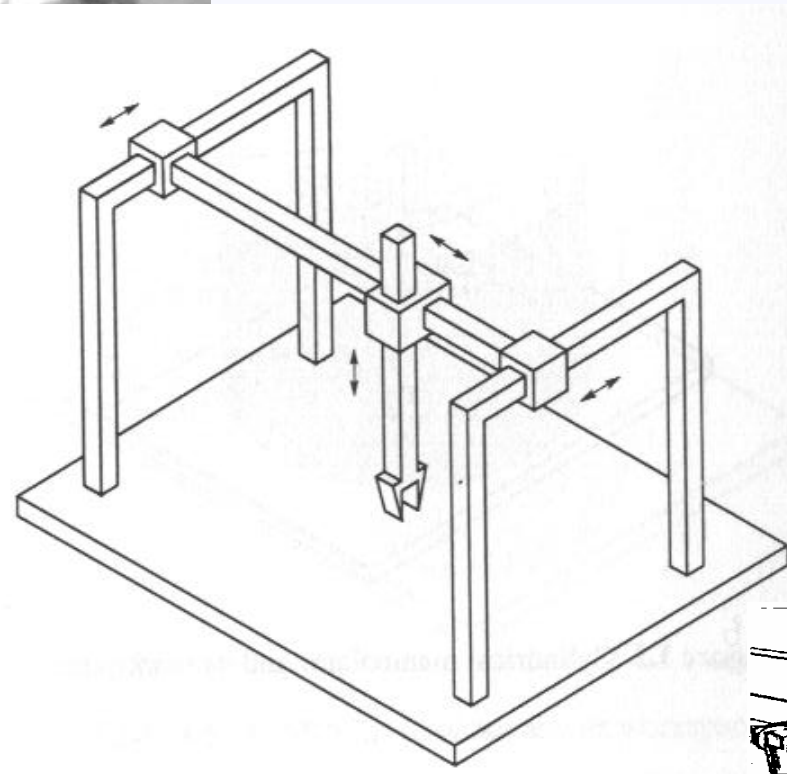
- Per **spazio di lavoro** si intende l'insieme dei punti (posizioni) dello spazio che il robot può raggiungere con la mano.
- Perché il robot possa operare correttamente è necessario inoltre che ogni punto possa essere raggiunto con un qualsiasi **orientamento** della mano
- Si distingue quindi
 - **spazio raggiungibile**, dove la mano può essere posta con almeno un orientamento
 - **spazio di destrezza** dove la mano può essere posta con ogni orientamento.



Cartesiano (TTT)

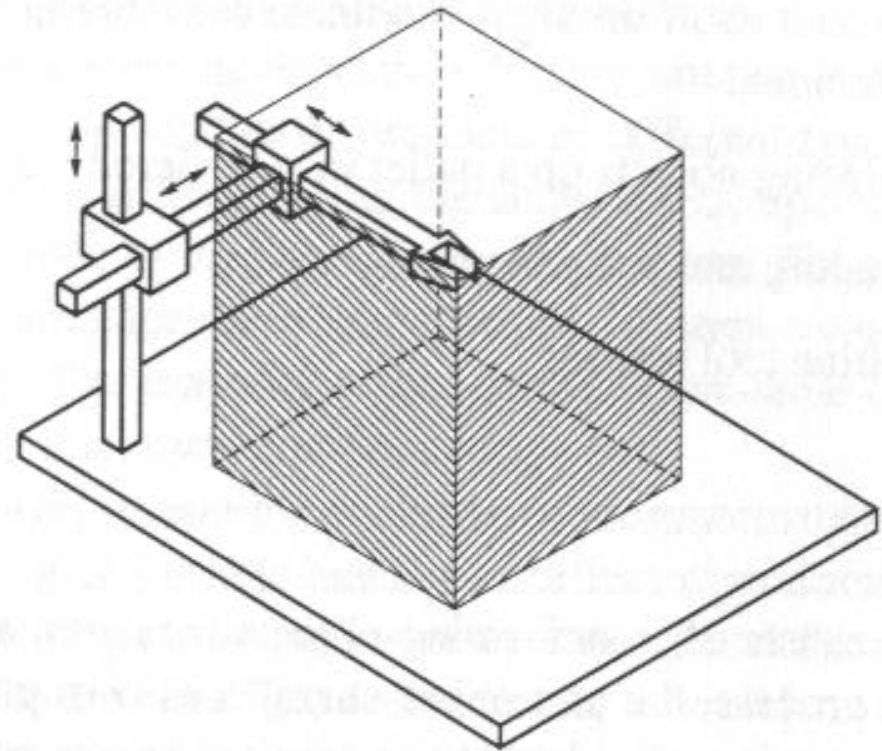
- 3 giunti prismatici ortogonali.
- A ponte o a sbalzo
- PRO: struttura rigida, disaccoppiamento

Allegro DEA-GE



Spazio lavoro cartesiano

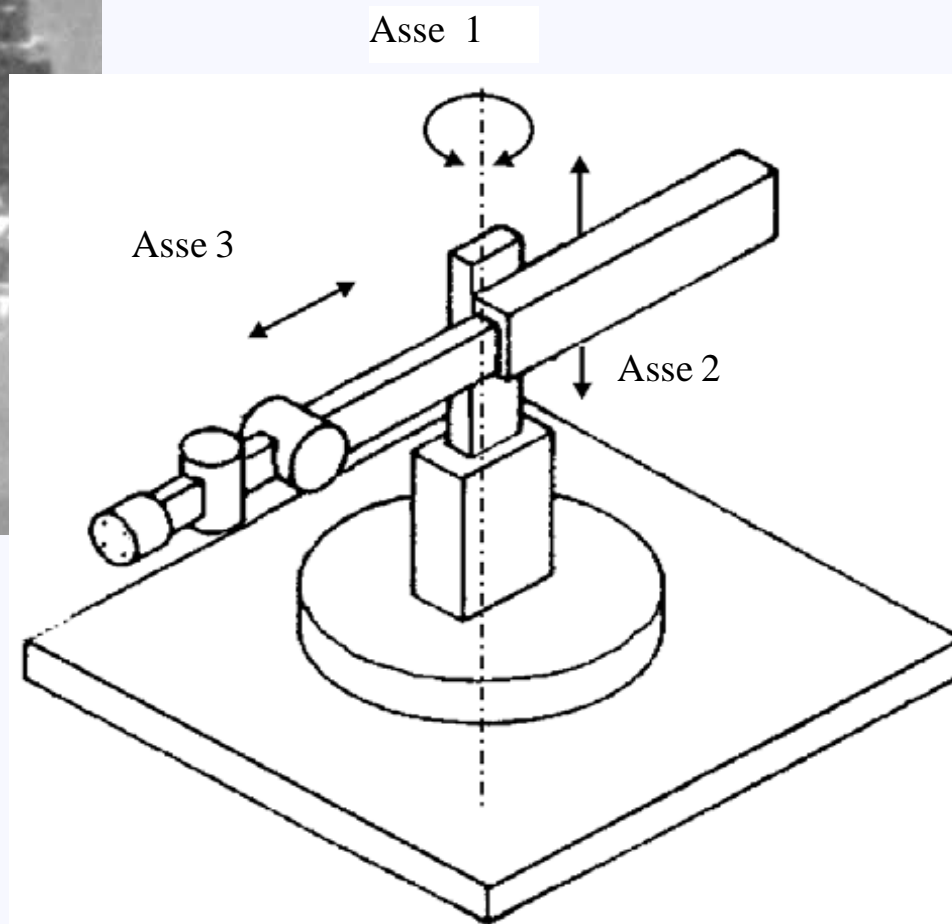
- Spazio di lavoro parallelepipedo
- Per assemblaggio



Cilindrico (RTT)

- R e poi due T ortogonali.

– la realizzazione di giunti di rotazione è semplice e conveniente

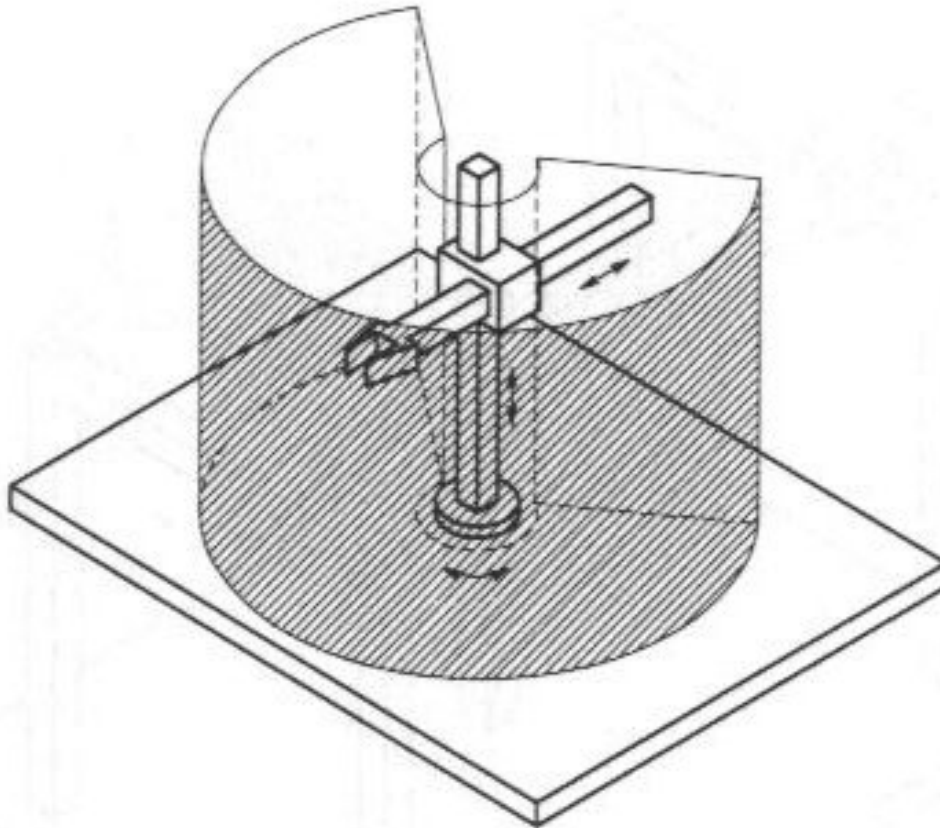


Spazio di lavoro cilindrico

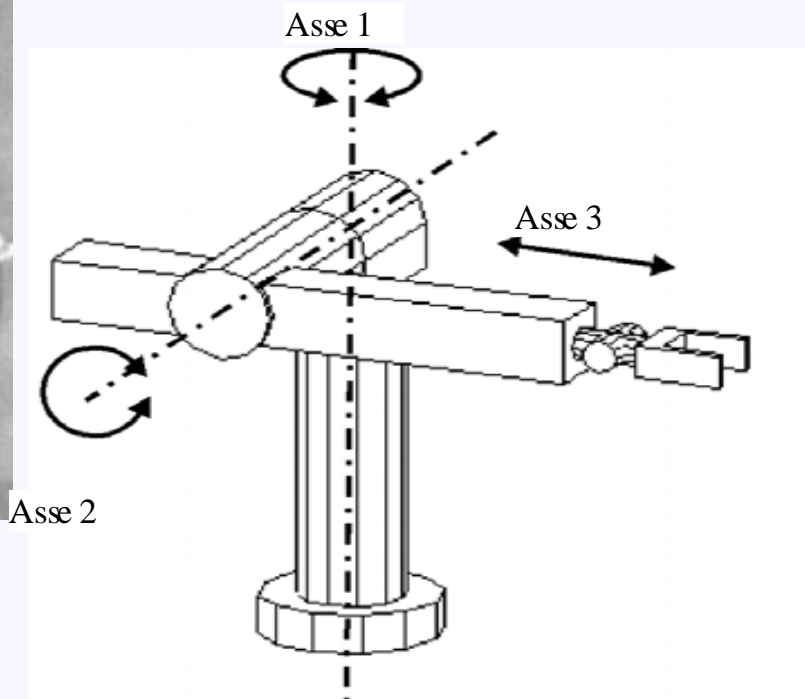


- spazio di lavoro è un cilindro.

- Ha poca libertà di movimento (ad esempio lo spazio di lavoro lungo il suo asse è ostruito dal robot stesso)

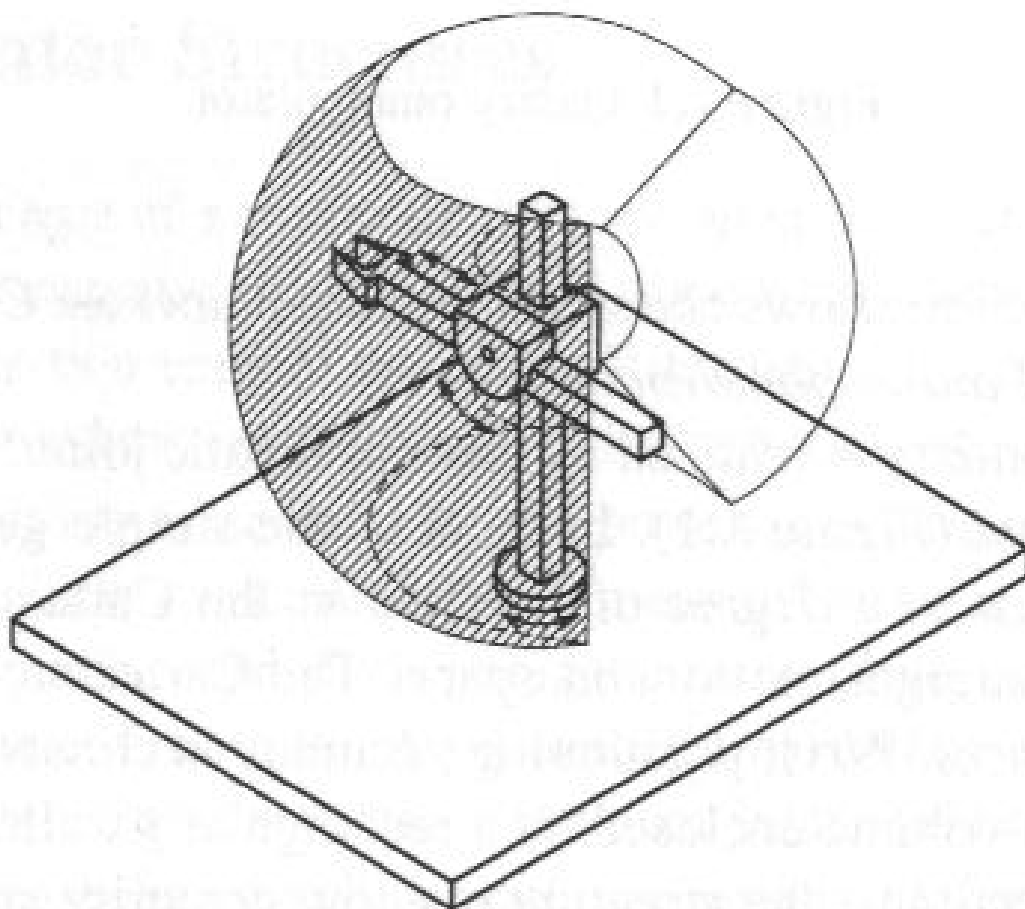


Sferico o polare (RRT)



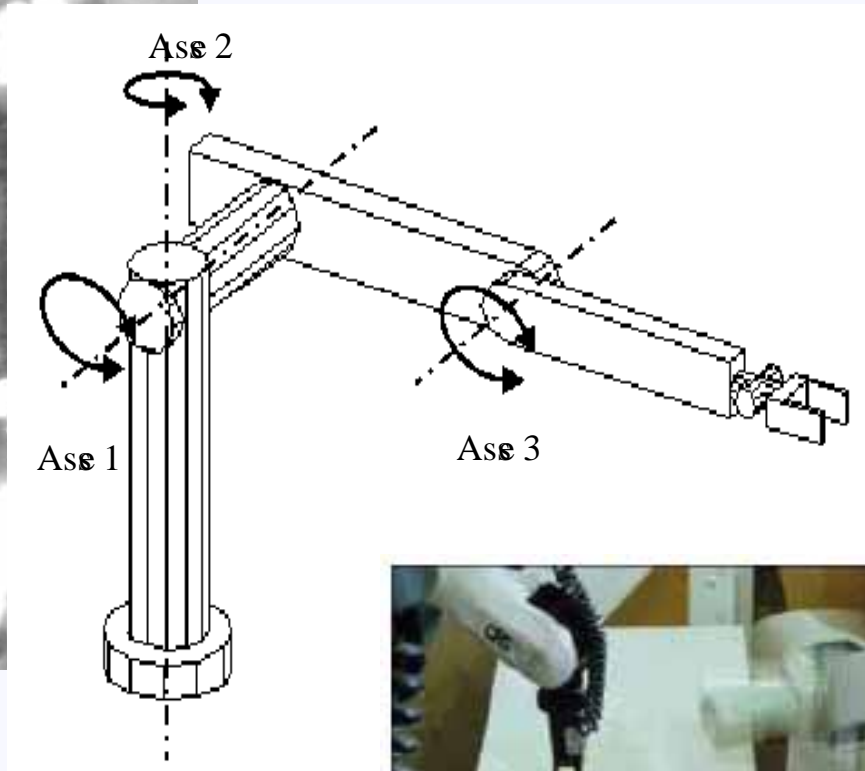
- ha due giunti R e poi un giunto prismatico. .
 - è spesso usato per saldatura, in quanto consente facilmente di lavorare con la mano orientata verso l'esterno.
 - lo Stanford Arm (1974).

Spazio di lavoro sferico

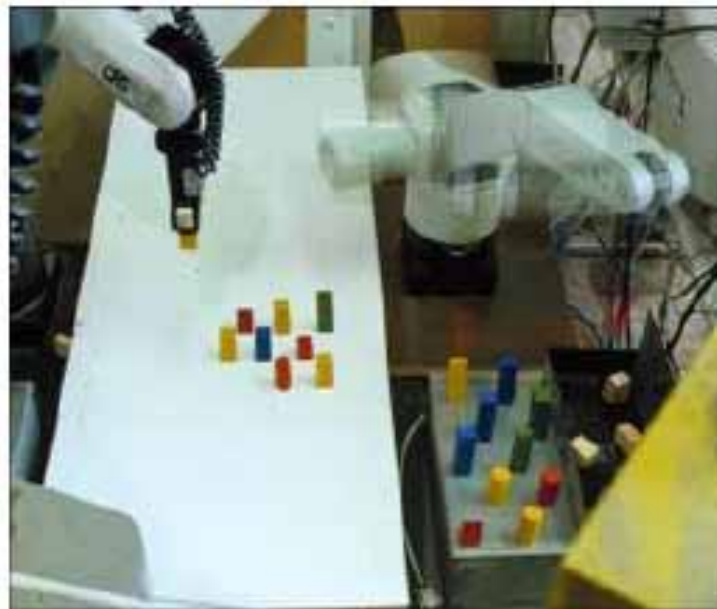


- spazio di lavoro è una semisfera
- la mano punta verso l'esterno

Articolato (RRR)

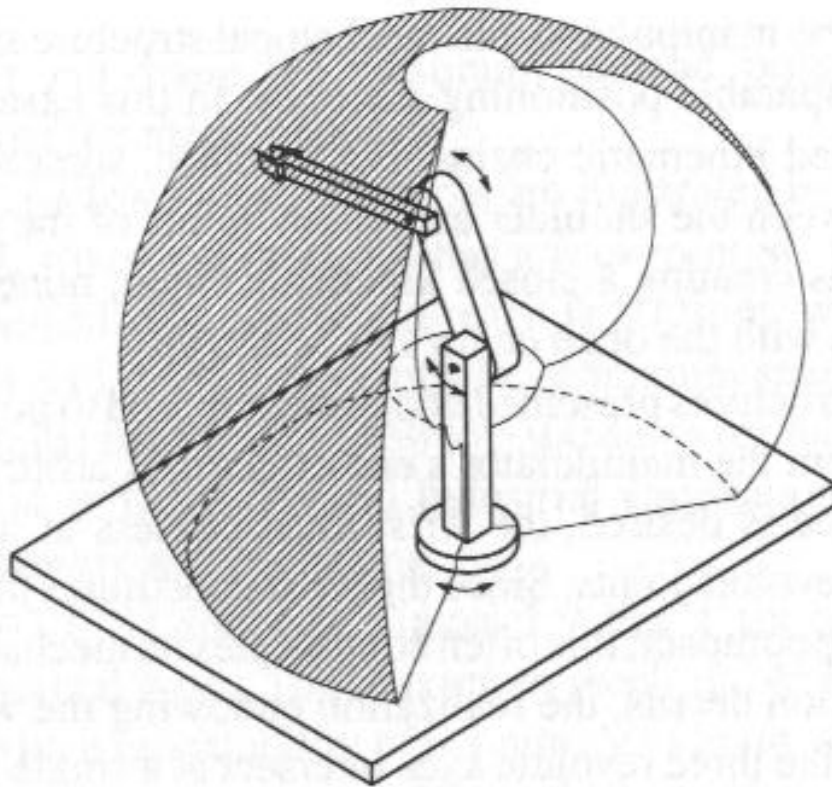


- 3 R
- simile al braccio umano, che però ha una rotazione in più alla spalla.
- La presenza di sole R rende il robot meno costoso e più agile



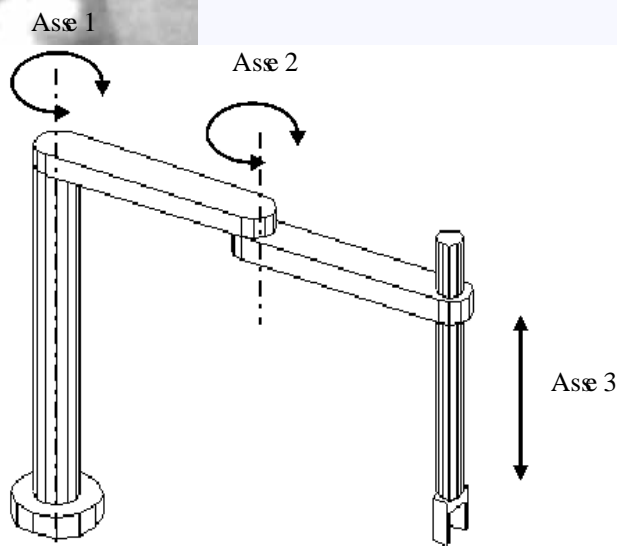
• Puma
• CRS

Spazio di lavoro articolato



- spazio di lavoro è parte di una semisfera.
- la trasformazione fra lo spazio di attuazione e quello del task è complessa

SCARA (selective compliant assembly robot arm)

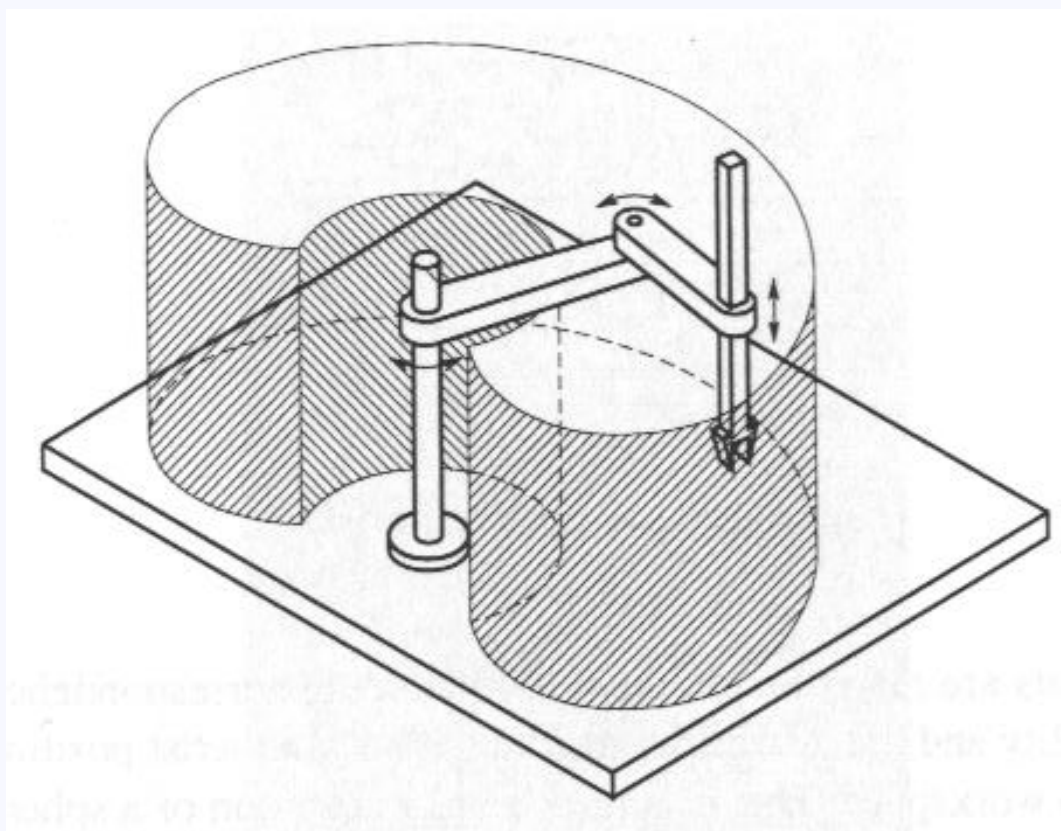


- 2 giunti di rotazione paralleli e un giunto di traslazione rivolto verso il basso.
- La discesa verticale è tipica delle operazioni di assemblaggio.
 - Questo robot permette di realizzarlo muovendo un solo giunto e non tutti e tre.
- I motori possono stare nella base - grossi e veloci

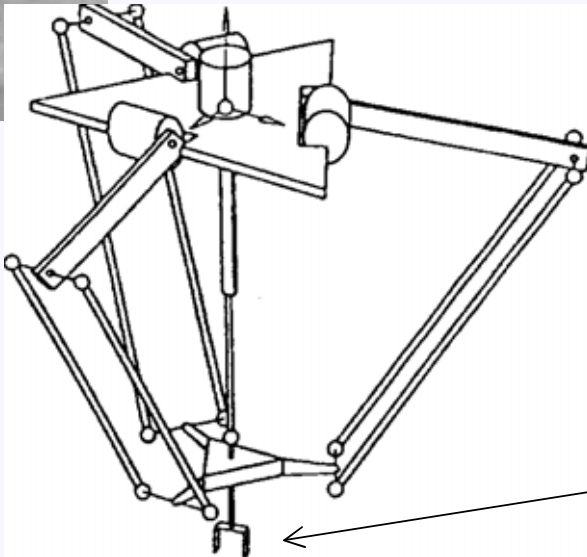
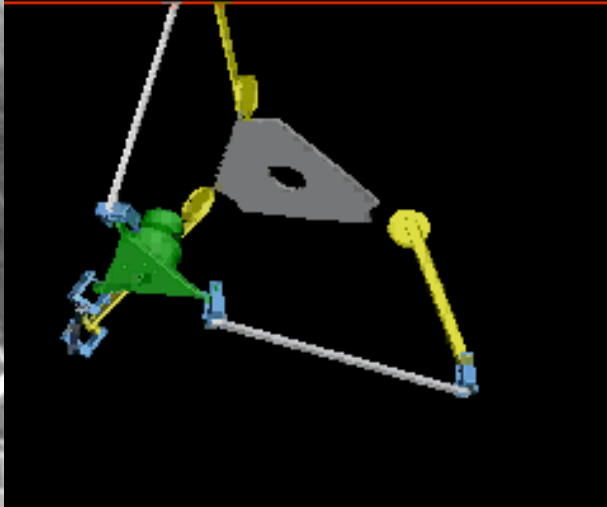


Spazio di lavoro SCARA

- È cilindrico



parallelo

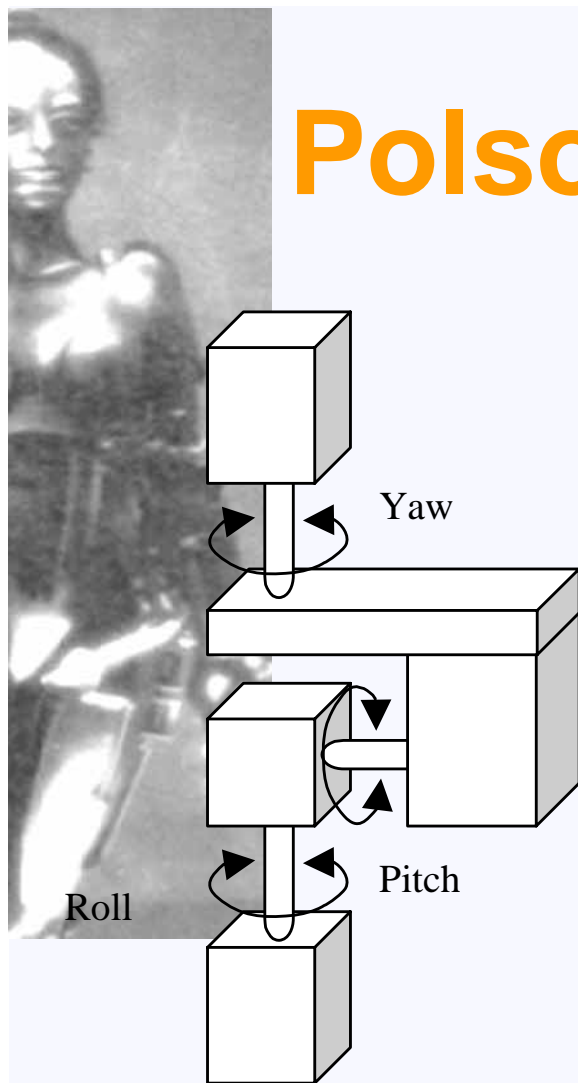
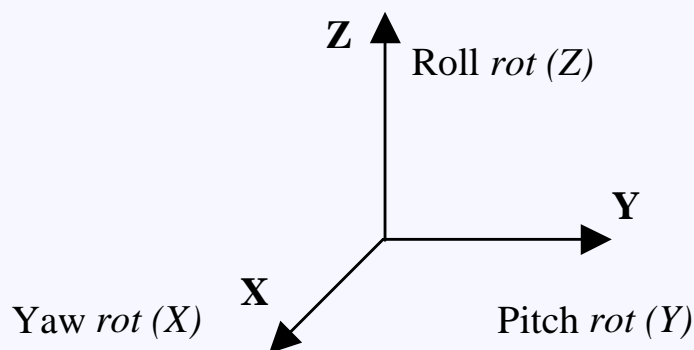


- Catene chiuse che permettono di muovere una piattaforma cui si attacca la mano.
- Originato da sistemi di simulazione di volo
- La cinematica può essere complessa
- precisione e velocità
- molte architetture diverse
 - qui illustrato robot DELTA 4

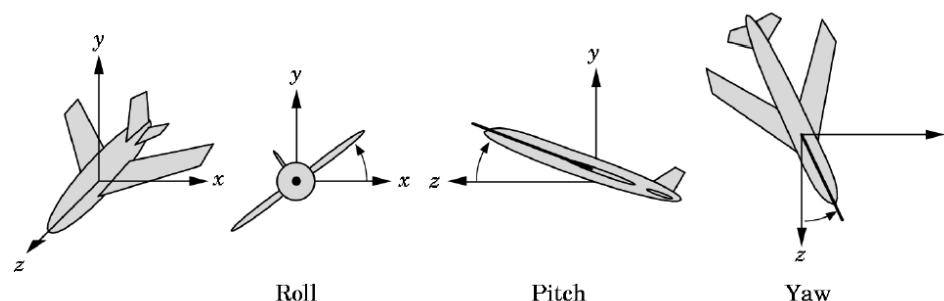
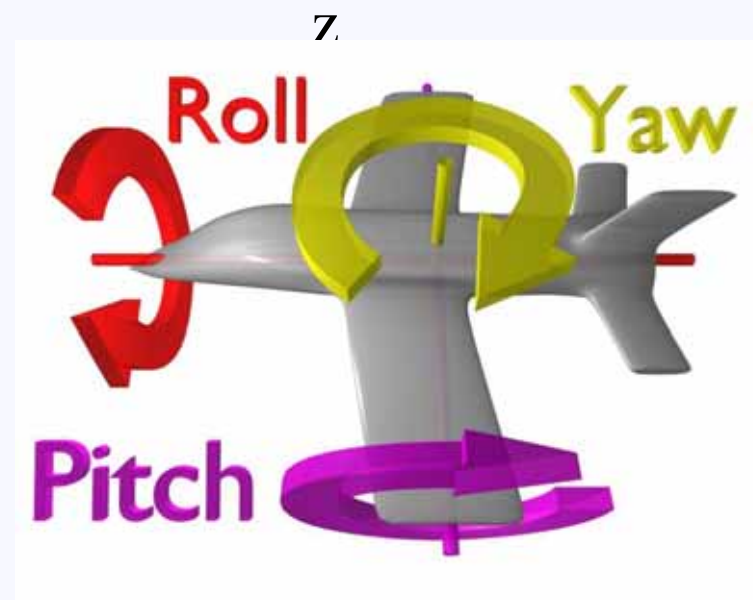
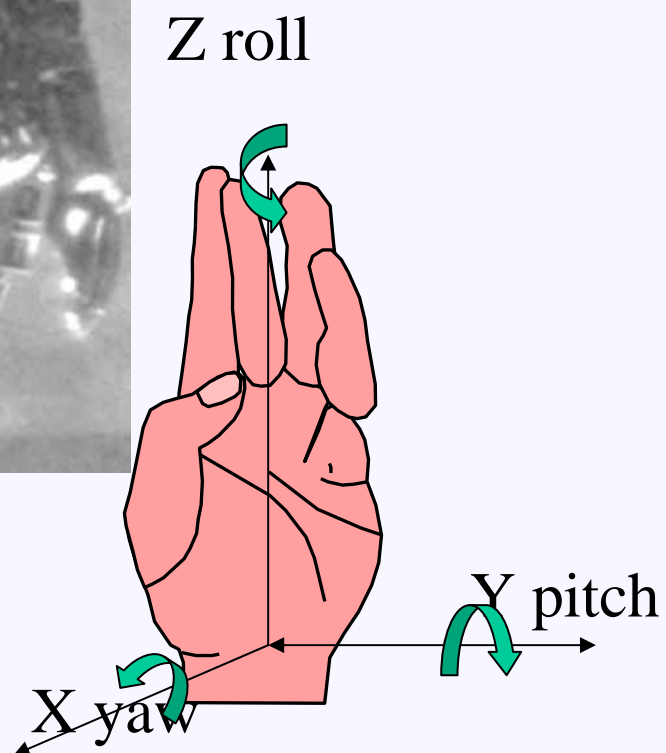
Polso di robot industriale

- ultimi giunti del braccio
- provvedono a fornire i gradi di libertà di rotazione
- 3 sono necessari per ogni orientamento
- Tre assi che si possono intersecare

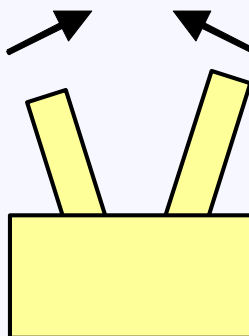
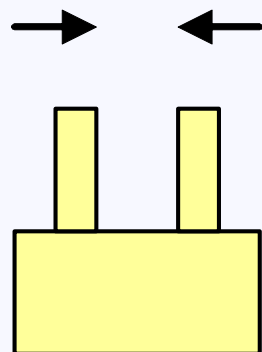
Roll, Pitch e Yaw
derivano dal gergo
areonautico (rollio
beccheggio e imbardata).



Rotazioni nello spazio cartesiano



Mano semplice a pinza



mani semplici.
due dita che possono
stringere degli oggetti.

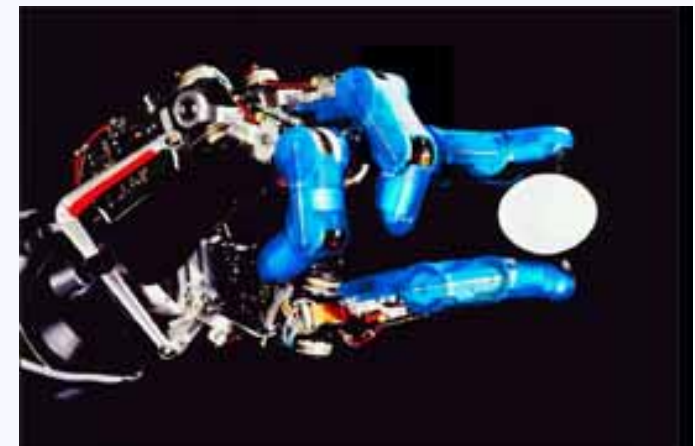
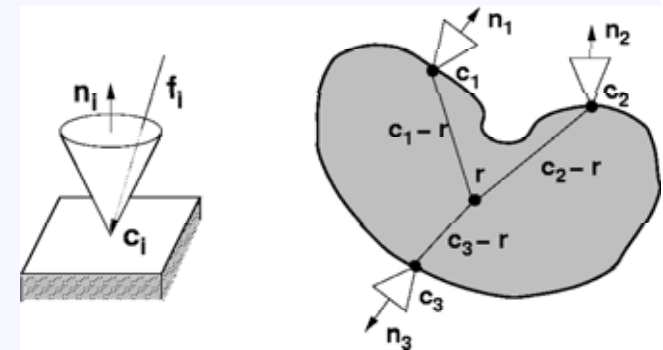
mani complesse

Utah MIT
whitefingers

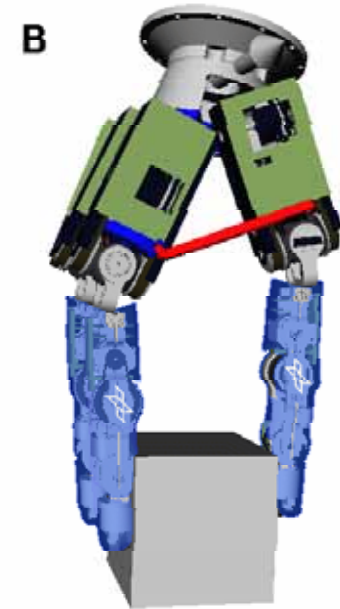
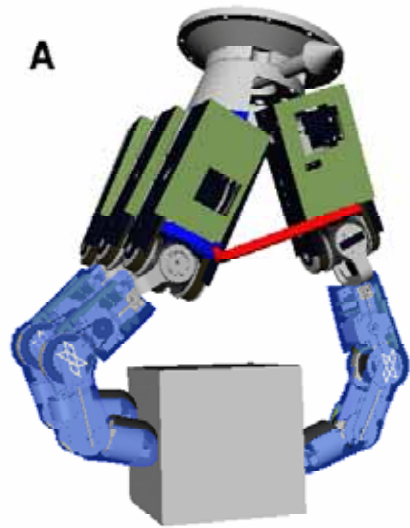


Problemi della presa

- Mano semplice
 - garantire tenuta della presa
 - garantire oggetto bloccato nella mano
 - non perdere il riferimento della posizione oggetto
- Mano umana
 - diverse prese possibili
 - importanza dei sensori



Preso umana e robotica



Una sola presa per robot industriali, solo la seconda (presa di precisione)

- Alternativamente, mano complessa ad hoc per il compito)

Per approfondire la meccanica

- <http://www.cs.cmu.edu/~rapidproto/mechanisms/chpt4.html>

