Controllo dei Robot

Introduzione

Paolo Lino

Dipartimento di Ing. Elettrica e dell'Informazione (DEI)

e-mail: paolo.lino [at] poliba.it

Introduzione - La robotica

La robotica è un settore relativamente giovane della tecnologia moderna che supera i confini tradizionali dell'ingegneria

Il termine robot è stato introdotto per la prima nel nostro vocabolario dal drammaturgo ceco Karel Capek nel 1920, nel suo dramma utopico fantascientifico ”I Robot Universali di Rossum” (RUR)

Il termine *robot* deriva dalla parola ”robota”, che nella lingua ceca indica il lavoro esecutivo, e nella finzione scenica è riferito all’automa fabbricato da Rossum

I robot fabbricati da Rossum sono creature costruite con materiale organico e caratterizzati da un comportamento condizionato dai sentimenti

La robotica

L’immagine del robot come artefatto meccanico viene introdotta negli anni ’40 dallo scrittore di fantascienza Isaac Asimov. Egli concepiva il robot come un automa dalle sembianze umane, con un comportamento dettato da un cervello ‘positronico’ programmato dall’uomo

Con il termine ‘Robotica’ Asimov indicava la scienza devota allo studio dei robot, la quale si fondava sulle tre leggi fondamentali di comportamenti a cui riferirsi come specifiche di progetto

Da allora, il termine robot è stato adoperato per indicare una grande varietà di dispositivi meccanici (teleoperatori, veicoli terrestri/subacquei autonomi, etc.) che operino con un certo grado di autonomia, di solito sotto il controllo di un calcolatore

La robotica

Definizione ufficiale del Robot Institute of America (RIA)

Un robot è un manipolatore multifunzionale riprogrammabile, progettato per la movimentazione di materiali, pezzi, utensili o altri dispositivi specifici di produzione, attraverso movimenti variabili programmati per l'esecuzione di compiti diversificati

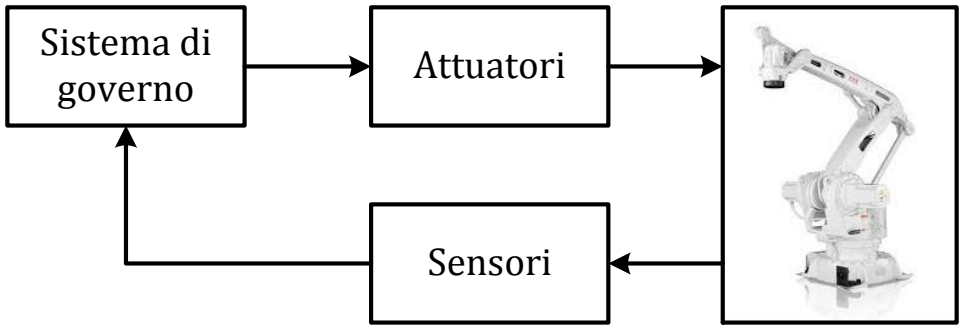
Definizione più comune (più generale e visionaria)

La robotica è la scienza che studia la connessione intelligente tra percezione ed azione

Componenti di un sistema robotico

Un sistema robotico è un sistema complesso rappresentato funzionalmente da più sottosistemi

- Sistema meccanico
- Sistema di attuazione
- Sistema sensoriale
- Sistema di governo



La robotica rappresenta un campo di applicazione che richiede conoscenze interdisciplinari di matematica e di ingegneria elettrica, elettronica, meccanica, automatica, informatica

Applicazioni della robotica

- **ROBOTICA INDUSTRIALE**
  Disciplina che riguarda la progettazione, il governo e le applicazioni in ambito industriale. Un robot per applicazioni industriali opera in un ambiente strutturato (caratteristiche geometriche/fisiche note a priori), con doti limitate di autonomia

- **ROBOTICA AVANZATA**
  Disciplina che interessa robot con spiccate caratteristiche di autonomia che operano in ambienti non strutturati o scarsamente strutturati
  - **Robot per l'esplorazione**
  - **Robot di servizio**

Robotica industriale

ROBOT INDUSTRIALI

Le prime realizzazioni risalgono agli anni ‘60, in seguito alla confluenza di due tecnologie: macchine utensili a controllo numerico e teleoperatori per la manipolazione a distanza di materiali radioattivi

Rispetto ai precursori:

- **Versatilità di impiego**
- **Adattabilità**
- **Ripetibilità di esecuzione**
- **Autonomia**

Robotica industriale

ROBOT INDUSTRIALI

Il robot industriale è diventato un componente essenziale per la realizzazione di sistemi automatizzati di produzione

- **Riduzione costi di produzione**
- **Incremento di produttività**
- **Miglioramento degli standard di qualità dei prodotti**
- **Possibilità di eliminare compiti rischiosi o alienanti**

AUTOMAZIONE

L'automazione è una tecnologia il cui obiettivo è quello di sostituire la macchina all'uomo in un processo di produzione, non solo per quanto riguarda l'esecuzione delle operazioni materiali, ma anche per ciò che concerne l'elaborazione intelligente delle informazioni sullo stato del processo.

Robotica industriale

TIPOLOGIE DI AUTOMAZIONE DEI SISTEMI DI PRODUZIONE

- **Automazione rigida:** produzione in serie di grossi volumi di manufatti di caratteristiche costanti
- **Automazione programmabile:** produzione di piccoli e medi lotti di manufatti di caratteristiche variabili
- **Automazione flessibile:** produzione di lotti variabili di manufatti diversi

ROBOT INDUSTRIALE

Per le sue caratteristiche di programmabilità, il robot industriale è un componente tipico dei sistemi di automazione programmabile

Robotica industriale

ROBOT INDUSTRIALE

Per le sue caratteristiche di programmabilità, il robot industriale è un componente tipico dei sistemi di automazione programmabile (*Robot Institute of America*)

> *Un robot è un manipolatore multifunzionale riprogrammabile, progettato per la movimentazione di materiali, pezzi, utensili o altri dispositivi specifici di produzione, attraverso movimenti variabili programmati per l'esecuzione di compiti diversificati*

CAPACITA' DI IMPIEGO NEI PROCESSI MANUFATTURIERI

- **Trasporto**
- **Manipolazione (e fabbricazione)**
- **Misura**

Robotica industriale

IMPIEGO NELLE FASI DI TRASPORTO

- **Carico e scarico dei magazzini**
- **Pallettizzazione**
- **Carico e scarico di macchine operatrici e macchine utensili**
- **Selezione e smistamento di parti**
- **Confezionamento di merci**

Nelle fasi di trasporto i robot sono coadiuvati da veicoli a guida automatica AGV (Automated Guided Vehicles):

- Dotati di sistemi a microprocessore e sensoristica avanzata (laser, GPS, etc.)
- I sistemi di bordo permettono la localizzazione nella fabbrica, regolano flusso e funzioni, ne consentono una completa integrazione nella fabbrica

Robotica industriale

APPLICAZIONI NELLE FASI DI FABBRICAZIONE

- **Verniciatura e rivestimento**
- **Saldatura ad arco**
- **Saldatura a punti con pistola pneumatica o servo-assistita**
- **Saldatura e taglio laser**
- **Incollaggio e sigillatura**
- **Pressatura e stampaggio**
- **Fresatura e trapanatura**
- **Sbavatura e molatura**
- **Avvitatura, cablaggio e fissaggio**
- **Assemblaggio**
- **Montaggio di schede elettroniche**

Robotica industriale

APPLICAZIONI NELLE FASI DI VERIFICA DEI PRODOTTI

- **Collaudo dimensionale**
- **Rilevamento dei profili**
- **Individuazione di difetti di fabbricazione**

Applicazioni della robotica

- **ROBOTICA INDUSTRIALE**
  Disciplina che riguarda la progettazione, il governo e le applicazioni in ambito industriale. Un robot per applicazioni industriali opera in un ambiente strutturato (caratteristiche geometriche/fisiche note a priori), con doti limitate di autonomia

- **ROBOTICA AVANZATA**
  Disciplina che interessa robot con spiccate caratteristiche di autonomia che operano in ambienti non strutturati o scarsamente strutturati
  - **Robot per l'esplorazione**
  - **Robot di servizio**

Robotica avanzata

ROBOT PER L'ESPLORAZIONE

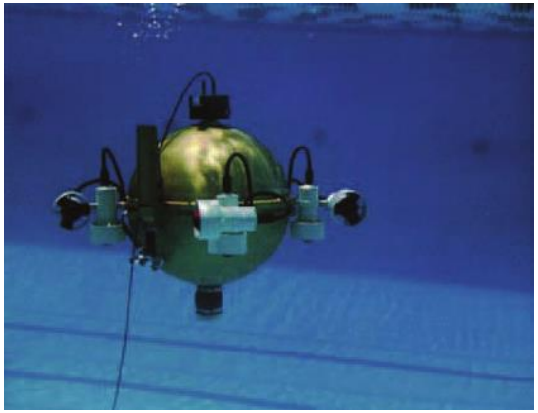
- **Robotica sottomarina**
- **Robotica aerea**
- **Robotica spaziale**
- **Robotica di soccorso**

Robot per l'esplorazione

ROBOTICA SOTTOMARINA

- **Remotely operated vehicles (ROV)**
- **Autonomous underwater vehicles (AUV)**







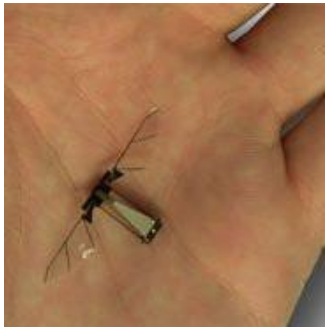


Robot per l'esplorazione

ROBOTICA AEREA – UAV (Unmanned aerial vehicles)

- **Applicazioni militari**
- **Applicazioni civili**









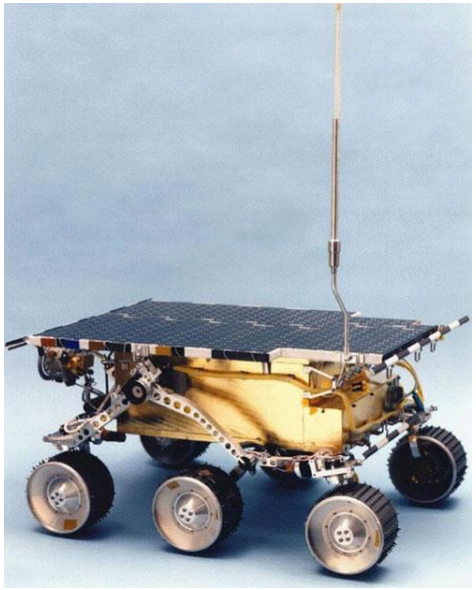


Robot per l'esplorazione

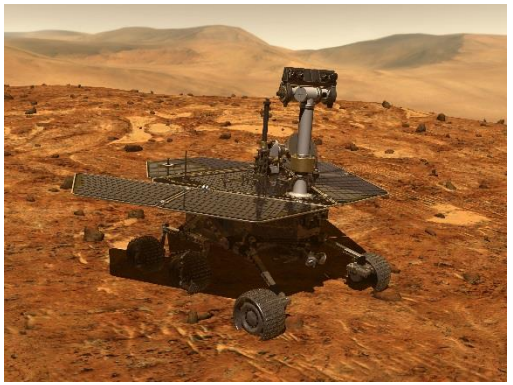
ROBOTICA SPAZIALE

- **Manipolazione**
- **Mobilità**
- **Teleoperazione e autonomia**
- **Esplorazione di ambienti ostili**









Robot per l'esplorazione

ROBOTICA DI SOCCORSO

- Unmanned Ground Vehicles (UGVs)
- Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)
- Unmanned Underwater Vehicles (UUVs)
- Unmanned Surface Sehicles (USVs)











Applicazioni della robotica

- **ROBOTICA INDUSTRIALE**
  Disciplina che riguarda la progettazione, il governo e le applicazioni in ambito industriale. Un robot per applicazioni industriali opera in un ambiente strutturato (caratteristiche geometriche/fisiche note a priori), con doti limitate di autonomia

- **ROBOTICA AVANZATA**
  Disciplina che interessa robot con spiccate caratteristiche di autonomia che operano in ambienti non strutturati o scarsamente strutturati
  - **Robot per l'esplorazione**
  - **Robot di servizio**

Robotica avanzata

ROBOT DI SERVIZIO

- **Veicoli intelligenti**
- **Robotica medica e chirurgia assistita**
- **Robotica di riabilitazione e assistenza**
- **Robotica domestica**
- **Robotica cooperativa**
- **Robotica in ambienti ostili**
- **…**

Robot di servizio

VEICOLI INTELLIGENTI

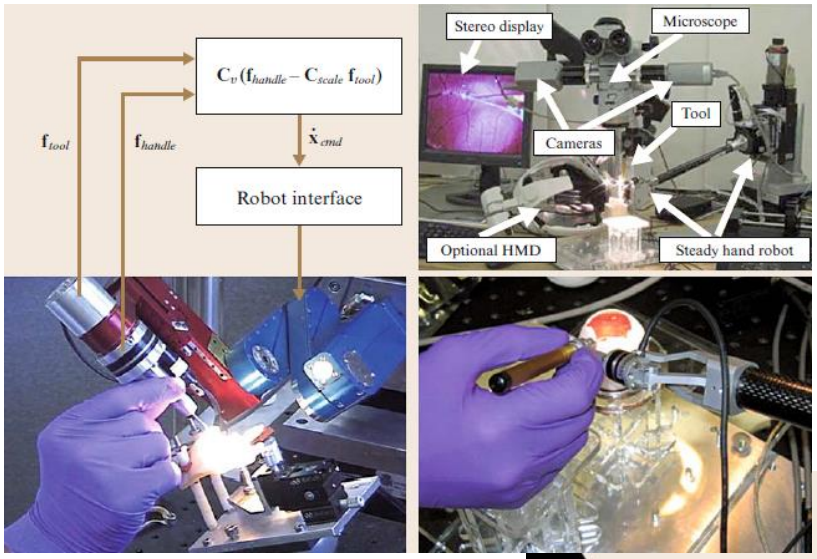


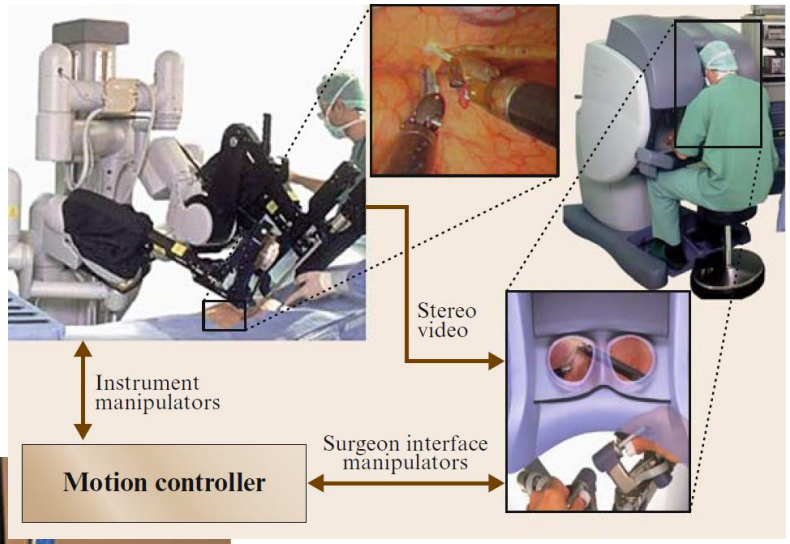




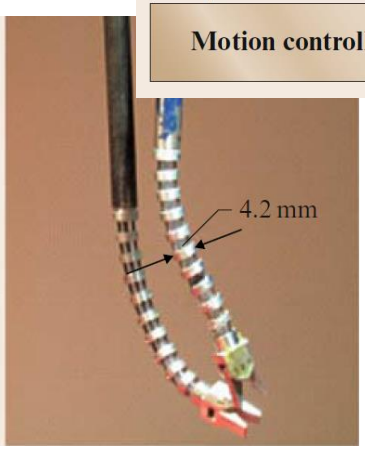
Robot di servizio

ROBOTICA MEDICA E CHIRURGIA ASSISTITA









Robot di servizio

ROBOTICA DI RIABILITAZIONE E ASSISTENZA









Robot di servizio

ROBOTICA DOMESTICA

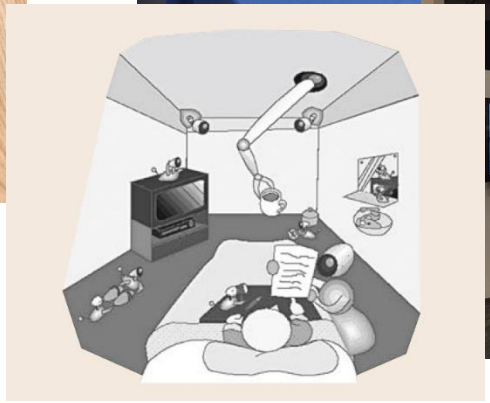














Robot di servizio

ROBOTICA COOPERATIVA

Manipolazione fine, spostamento carichi, human extenders









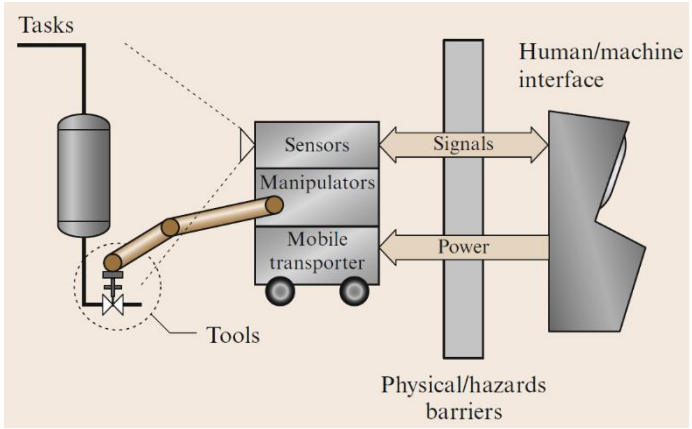


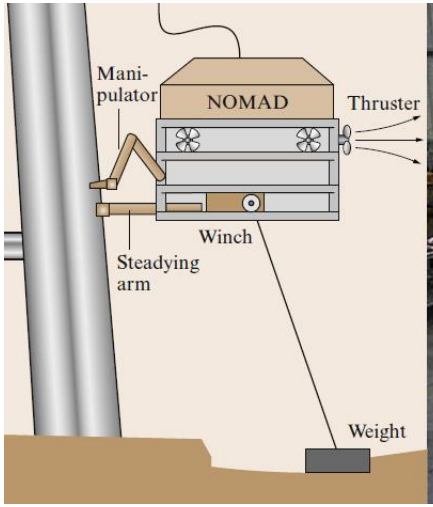
Robot di servizio

ROBOTICA IN AMBIENTI OSTILI











Robot di servizio

- **Robot per l'agricoltura**
- **Robot per l'ingegneria civile**
- **Robotica per l'istruzione e l'intrattenimento**
- **Robotica per l'attività mineraria**
- **…**

Robot industriali di manipolazione

MANIPOLATORE

Macchina la cui struttura meccanica è normalmente costituita da una serie di elementi rigidi (bracci) generalmente collegati in serie e connessi tra di loro mediante articolazioni (giunti) di rotazione o scorrimento relativo tra loro.

Nel manipolatore si individuano:

- **Struttura portante:** Assicura la mobilità. Regola la posizione dell'organo terminale al livello del pezzo da lavorare
- **Polso:** Conferisce destrezza. Regola l'orientamento dell'utensile per consentire la presa del pezzo
- **Organo terminale (end-effector):** Esegue il compito per cui il robot è utilizzato

Robot manipolatori

STRUTTURA MECCANICA DI UN ROBOT MANIPOLATORE

- **Struttura meccanica a catena cinematica aperta (seriale) o a catena cinematica chiusa (parallelo)**
- **Gradi di mobilita (giunti prismatici o rotoidali)**
- **Gradi di liberta (descrizione di un compito)**
- **Volumi o spazi (definiti per motivi di sicurezza o per caratterizzare le possibilità di movimento dell'organo terminale**

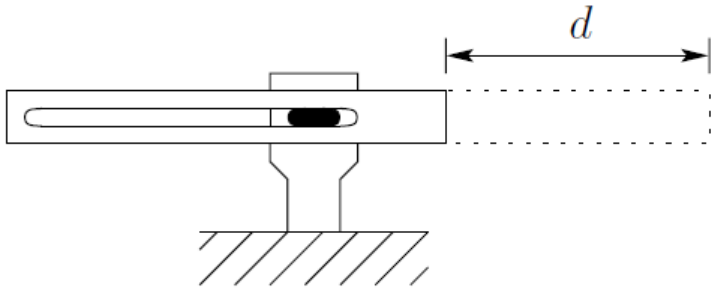
Robot manipolatori

STRUTTURA MECCANICA DI UN ROBOT MANIPOLATORE

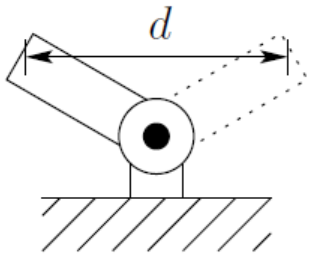
Catena Cinematica Aperta: Una sola sequenza di bracci connette i due estremi della catena

Catena Cinematica Chiusa: Una sequenza di bracci forma un anello

GRADI DI MOBILITA'



Giunto prismatico: moto relativo di traslazione tra due bracci



Giunto rotoidale: moto relativo di rotazione tra due bracci

Robot manipolatori

GRADI DI LIBERTA'

Devono essere in numero sufficiente per l'esecuzione dei compiti previsti

Manipolatore ridondante: il numero di gradi di libertà è maggiore delle variabili di compito

Esempio: Posizionare e orientare un oggetto nello spazio

6 gradi di libertà necessari (3 per posizionarlo + 3 per orientarlo)

Robot manipolatori

VOLUMI O SPAZI DEFINITI PER MOTIVI DI SICUREZZA

- **Spazio di movimento:** insieme dei punti che può essere toccato da una qualsiasi parte del robot vero e proprio, escludendo l'organo terminale (caratteristica intrinseca del robot)
- **Spazio massimo:** comprendente lo spazio di movimento e quello che può essere raggiunto dall'organo terminale e dal pezzo in lavorazione (caratteristica di una particolare lavorazione e/o configurazione del robot)
- **Spazio ristretto:** rappresenta una contrazione dello spazio massimo per la presenza di dispositivi (e.g. fine corsa) che limitano il movimento d alcuni assi
- **Spazio operativo:** parte dello spazio ristretto effettivamente utilizzata nella realizzazione dei movimenti programmati

Robot manipolatori

VOLUMI O SPAZI DEFINITI PER CARATTERIZZARE LE POSSIBILITA' DI MOVIMENTO

- **Spazio dei giunti:** è definito in senso matematico, rappresenta l'insieme dei valori che possono essere assunti dalle coordinate ai giunti
- **Spazio di lavoro:**
  - In senso matematico: Insieme delle pose che possono essere ottenute dall'organo terminale
  - In senso fisico: Porzione dell'ambiente circostante a cui può accedere l'organo terminale di un manipolatore.

Robot manipolatori

SPAZIO DI LAVORO

Forma e volume dello spazio di lavoro dipendono dalla struttura del manipolatore

- **Spazio di lavoro raggiungibile:** regione dello spazio che l'origine della terna utensile può raggiungere con almeno un orientamento.
- **Spazio di lavoro destro (o spazio di destrezza):** regione dello spazio che l'origine della terna utensile può raggiungere con più di un orientamento.

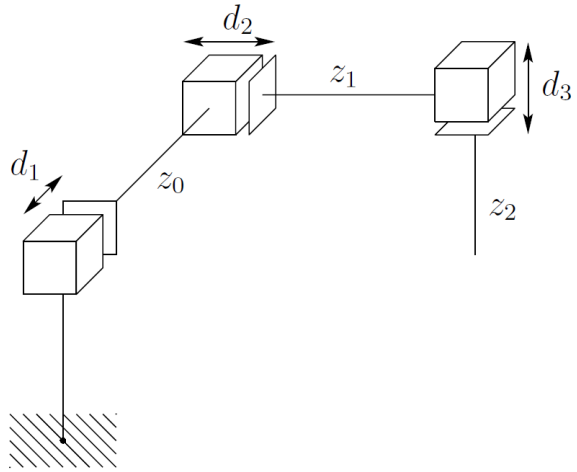
Robot manipolatori

TIPO E SUCCESSIONE DEI GRADI DI LIBERTÀ DELLA STRUTTURA PORTANTE

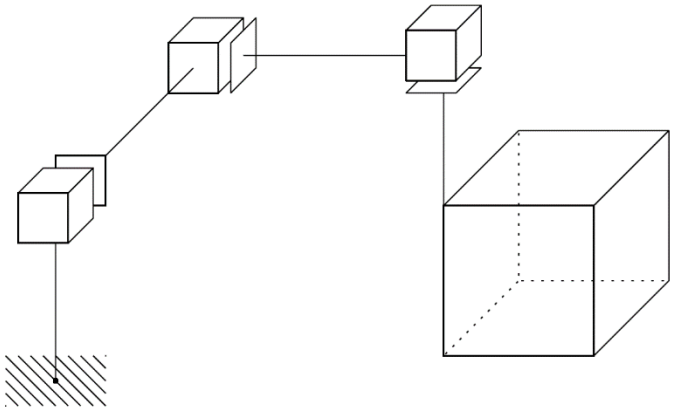
- **Manipolatori Cartesiani**
- **Manipolatori Cilindrici**
- **Manipolatori Sferici**
- **Manipolatori SCARA**
- **Manipolatori Antropomorfi**

Robot manipolatori

MANIPOLATORE CARTESIANO



Manipolatore cartesiano

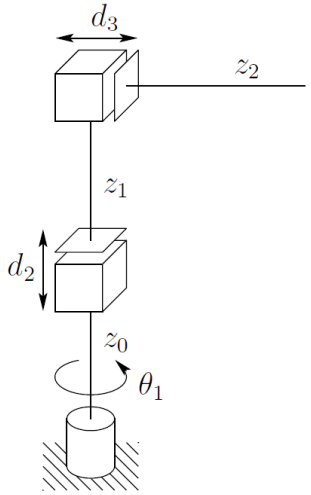


Spazio di lavoro di un manipolatore cartesiano

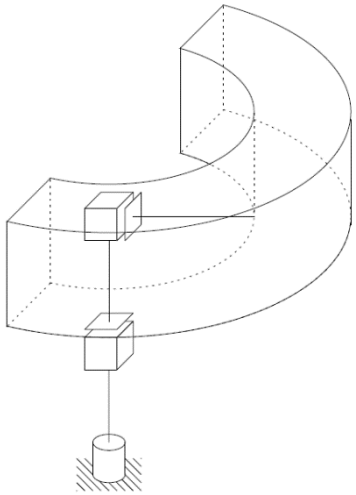
- 3 giunti prismatici (usualmente ortogonali)
- Corrispondenza tra gradi di libertà e variabili dello spazio cartesiano
- Spazio di lavoro racchiuso da un parallelepipedo
- Ottima rigidezza, buona precisione, scarsa destrezza; impiegati per operazioni di trasporto ed assemblaggio

Robot manipolatori

MANIPOLATORE CILNDRICO



Manipolatore cilindrico

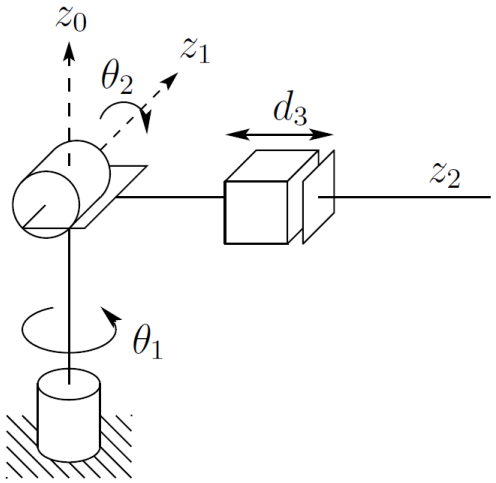


Spazio di lavoro di un manipolatore cilindrico

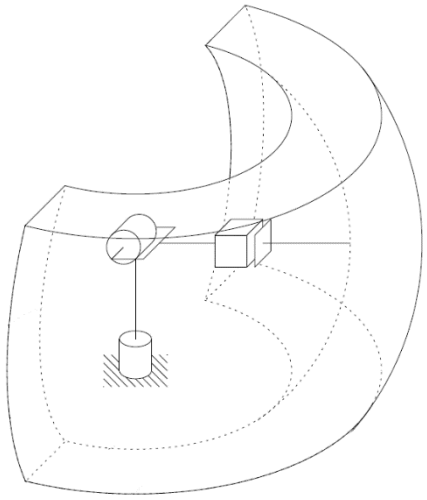
- 2 giunti prismatici + 1 giunto rotoidale di base
- Corrispondenza tra gradi di libertà e variabili dello spazio cartesiano se il compito è descritto in coordinate cilindriche
- Spazio di lavoro racchiuso da un cilindro cavo
- Adatto ad accedere col polso in cavità orizzontali; impiegato per operazioni di trasporto

Robot manipolatori

MANIPOLATORE SFERICO



Manipolatore sferico



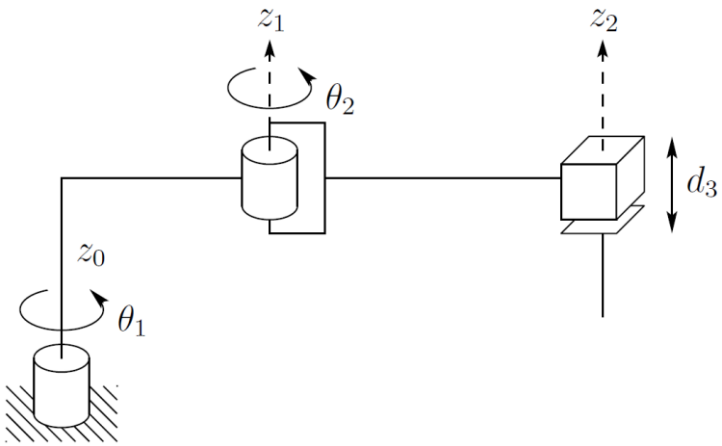
Spazio di lavoro di un manipolatore sferico

- 1 giunti prismatico + 2 giunti rotoidali
- Corrispondenza tra gradi di libertà e variabili dello spazio cartesiano se il compito è descritto in coordinate sferiche
- Spazio di lavoro racchiuso da una sfera cava; può includere al suo interno il piano di supporto della base del manipolatore
- Rigidezza ridotta; impiegati per operazioni di lavorazione

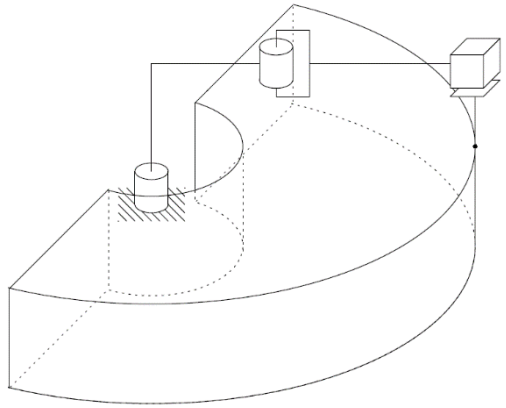
Robot manipolatori

MANIPOLATORE SCARA

(Selective Compliant Articulated Robot for Assembly**)**



Manipolatore SCARA

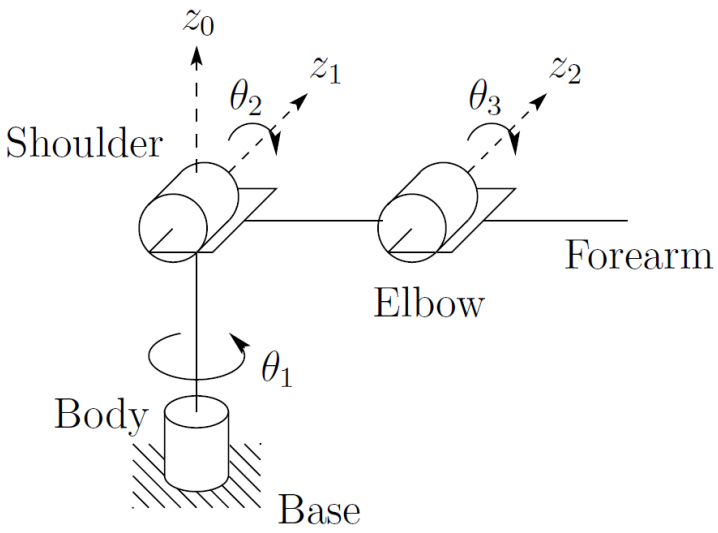


Spazio di lavoro di un manipolatore SCARA

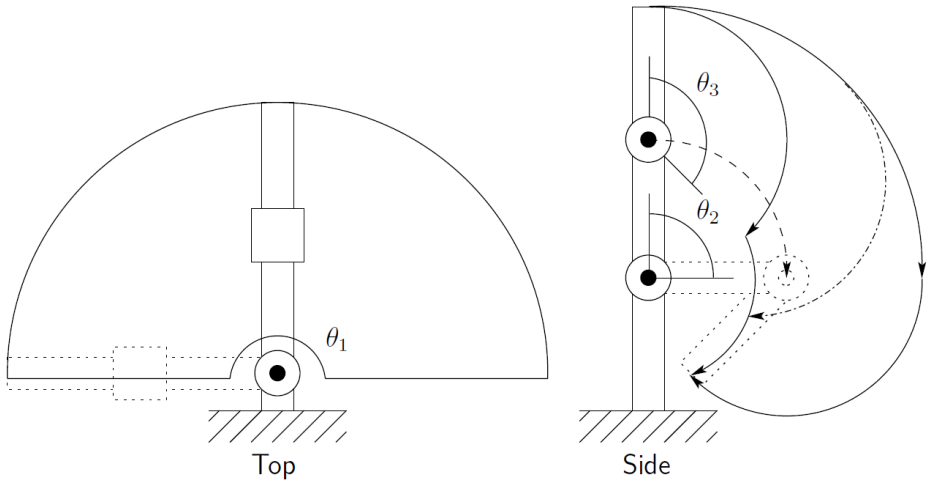
- 1 giunto prismatico + 2 giunti rotoidali → Assi di moto paralleli
- Elevata rigidezza a carichi verticali e cedevolezza a carichi orizzontali
- Esecuzione di compiti di assemblaggio per inserimenti verticali, manipolazione di piccoli oggetti

Robot manipolatori

MANIPOLATORE ANTROPOMORFO



Manipolatore antropomorfo



Spazio di lavoro di un manipolatore antropomorfo

- 3 giunti rotoidali (asse del giunto di base ortogonale agli altri due)
- Non vi è corrispondenza tra gradi di libertà e variabili dello spazio cartesiano
- Rappresenta la struttura di manipolazione più destra
- Spazio di lavoro racchiuso approssimativ. da una porzione di sfera
- Utilizzato in molteplici applicazioni

Robot manipolatori

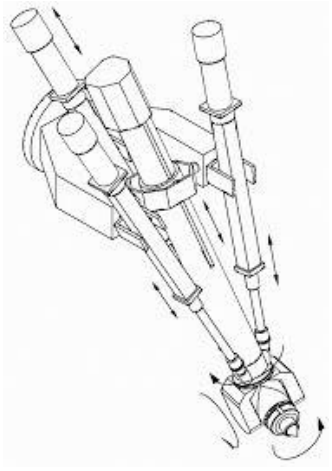
STRUTTURE A CATENA CINEMATICA CHIUSA

Per portate elevate occorrono migliori caratteristiche di rigidezza per garantire precisioni di posizionamento comparabili

- **Manipolatore antropomorfo a parallelogramma**
  Geometria a parallelogramma tra i giunti di spalla e gomito
- **Manipolatore parallelo**
  Più catene cinematiche connettono la base all'organo terminale
- **Manipolatore ibrido parallelo-serie**
  Struttura portante parallela e cinematica seriale

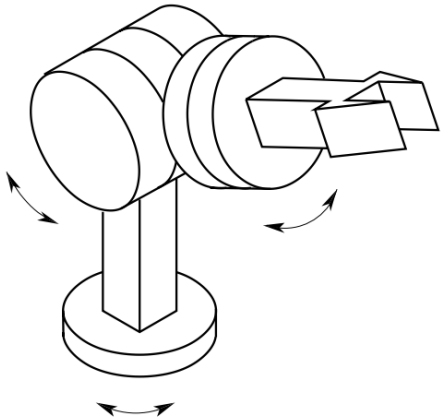






Robot manipolatori

POLSO SFERICO



Polso sferico

Polso: Conferisce destrezza. Regola l'orientamento dell'utensile per consentire la presa del pezzo

- 3 gradi di libertà realizzati da giunti rotoidali per garantire orientamenti arbitrari nello spazio tridimensionale
- Caratteristiche di compattezza
- Elevata destrezza: i tre assi di rotazione si intersecano in un punto
- Disaccoppiamento tra posizione e orientamento dell'organo terminale

Robot manipolatori

ORGANO TERMINALE (END-EFFECTOR)

Specificato in relazione al compito che il robot deve eseguire

- **Trasporto**
  Pinza di forma e dimensioni dipendenti dagli oggetti
- **Lavorazione ed assemblaggio**
  Utensile o dispositivo specializzato (torcia di saldatura, pistola a spruzzo, fresa, trapano, avvitatore, etc.)









Modellistica e controllo di robot

MODELLISTICA

- Struttura meccanica (cinematica + cinematica differenziale + statica + dinamica)
- Attuatori
- Sensori

CONTROLLO

- Pianificazione del moto
- Controllo nello spazio libero
- Controllo nello spazio vincolato
- Unità di governo

Modellistica di robot

- **Cinematica:**
  Relazioni tra posizioni dei giunti e posizione e orientamento dell'organo terminale
- **Cinematica differenziale:**
  Relazioni tra velocità dei giunti e velocità (lineare e angolare) dell'organo terminale
- **Statica:**
  Relazioni tra forze e coppie applicate ai giunti e forze e momenti applicati all'organo terminale in situazioni di equilibrio
- **Dinamica:**
  Equazioni del moto del manipolatore in funzione delle forze e momenti agenti su di esso

Controllo di robot

- **Pianificazione di traiettorie**
  - Generazione delle leggi di moto per le variabili di interesse (relative ai giunti o all'organo terminale)
- **Controllo del moto**
  - Determinazione delle forze/coppie agli attuatori per garantire l'esecuzione delle traiettorie di riferimento
- **Controllo dell'interazione**
  - Gestione del contatto tra organo terminale e ambiente
- **Attuatori e sensori**
  - Attuazione del moto
  - Misura di variabili di interesse
- **Unita di governo**
  - Implementazione delle leggi di controllo
  - Interfaccia con operatore