



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA

## CORSI DI INGEGNERIA

**A.A. 2017/2018**  
**Robotica industriale ( I4I )**  
**- Cecati Carlo - Manes Costanzo -**

(Aggiornato il 15-02-2018)

### **Contenuti del corso (abstract del programma):**

Generalità su robot industriali e applicazioni. Modellistica cinematica, statica e dinamica di manipolatori a catena aperta. Algoritmi di risoluzione della cinematica inversa. Algoritmi di generazione di traiettorie. Architetture di controllo di robot. Studio della stabilità di controllori PD. Controllo di traiettoria. Cenni di programmazione di robot con riferimento al COMAU Smart NS 16. Elementi di modellistica e controllo dei motori elettrici.

### **Programma esteso:**

Generalità sui robot industriali e sulle loro applicazioni. Sottosistemi (Hardware e Software) di un robot industriale. Geometrie e strutture meccaniche dei manipolatori. Sistemi di riferimento cartesiani e trasformazioni di coordinate, operatore di rotazione e matrici ortonormali, rappresentazioni dell'orientamento: terne di angoli (Eulero Z-Y-Z, Roll-Pitch-Yaw), asse e angolo di Eulero. Operatori di roto-traslazione. Formula di Rodrigues. Cinematica del corpo rigido; velocità di traslazione e velocità angolare; accelerazione angolare. Velocità del corpo rigido in diversi riferimenti, matrici di trasformazione. Relazione tra derivate di angoli di Eulero e velocità angolare. Manipolatori robotici: catene cinematiche aperte; la notazione di Denavit-Hartenberg; equazioni della cinematica di catene di corpi rigidi, composizione di roto-traslazioni e soluzione del problema della cinematica diretta; il problema della cinematica inversa, soluzioni in forma chiusa per robot planari 2R e 3R; cinematica inversa in forma chiusa di un robot antropomorfo cono polso sferico. Cinematica differenziale; Jacobiano algebrico e Jacobiano geometrico; calcolo dello Jacobiano geometrico. Cenni di teoria dell'ottimizzazione, metodo del gradiente e metodo di Newton. Cenni di ottimizzazione vincolata: moltiplicatori di Lagrange. La pseudo inversa nei problemi quadratici con vincoli lineari. Soluzione del problema cinematico inverso. Metodi numerici per il calcolo della cinematica inversa; singolarità cinematiche; ridondanza cinematica. Definizione e calibrazione dell'utensile. Cenni di statica del corpo rigido: trasformazioni di sistemi di forze. Teorema dei lavori virtuali per il calcolo di forze in equilibrio. Statica del robot: trasformazioni di forze e momenti dall'utensile ai giunti; matrice di rigidità e matrice di cedevolezza. Dinamica: richiami di dinamica del corpo rigido: energia cinetica ed energia potenziale. equazione di Newton (dinamica del centro di massa) e equazione di Eulero (dinamica rotazionale). Formulazione di Lagrange, calcolo dell'energia cinetica e dell'energia potenziale dei manipolatori; modello dinamico del robot e sue proprietà; metodi efficienti per il calcolo della dinamica inversa: cenni sulla formulazione di Newton-Eulero e algoritmo di Luh, Walker e Paul; Pianificazione di traiettorie: algoritmi per la generazione di traiettorie

rettilinee nello spazio dei giunti (punto-punto) e nello spazio cartesiano (posizione/orientamento della mano). Leggi di percorrenza: profilo trapezoidale di velocità in presenza di vincoli di velocità e accelerazione massima. Controllo: architetture di controllo per Robot Industriali; controllori PD e PID; studio della stabilità di controllori PD con compensazione della gravità; controllori non lineari a coppia precalcolata e a coppia calcolata. Cenni sulla programmazione di robot. Esercitazioni su robot industriale COMAU SMART NS 16. Elementi di modellistica e controllo dei motori elettrici per la robotica: principi di conversione elettromeccanica; macchine in corrente continua e relativi modelli dinamici; il campo magnetico rotante; macchine in corrente alternata: motori asincroni e motori sincroni a magneti permanenti; modelli dei motori asincroni; cenni al controllo vettoriale delle macchine asincrone; schemi a blocchi dei principali azionamenti elettrici elettrici per la robotica.

### **Modalità d'esame:**

Una prova orale.

### **Risultati d'apprendimento previsti:**

Capacità di costruire modelli cinematici e dinamici di robot industriali. Capacità di utilizzare i modelli calcolati per eseguire simulazioni al computer. Capacità di implementare algoritmi di pianificazione di traiettorie. Capacità di progettare schemi di controllo di robot. Conoscenza delle strutture di base della programmazione di robot.

### **Testi di riferimento:**

L. Sciavicco, B. Siciliano,

Oppure: B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo,

Oppure: B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo,

Oppure J.J. Craig, !Introduction to Robotics: Mechanics and Control,

Dispense in distribuzione.