

## **Programma del Corso di Robotica 10 Crediti Formativi Universitari (5+5)**

Docenti:

Robotica I: Ing. Marco Gabiccini

Robotica II: Ing. Antonio Bicchi

### **FINALITÀ DEL CORSO**

Il corso si propone di fornire agli allievi le nozioni fondamentali e gli strumenti necessari per l'analisi, la progettazione ed il controllo di sistemi robotici, intesi nella loro più ampia accezione: sistemi meccanici controllati da un processore digitale, dotati di capacità sensoriali e di intervento sull'ambiente, con caratteristiche di elevata autonomia e di facile interazione con l'uomo.

### **ORGANIZZAZIONE DEL CORSO**

Il corso è composto da due moduli integrati, di 5 crediti ciascuno, denominati Robotica I e Robotica II. Il primo corso, tenuto dall'Ing. Gabiccini, riguarda la modellistica dei robot articolati e mobile. Il secondo corso, tenuto dall'Ing. Bicchi, tratta della pianificazione e del controllo dei sistemi robotici e più in generale di sistemi meccanici complessi.

### **OBIETTIVI DEL CORSO**

Lo studente al termine del corso sarà posto in grado di:

- Conoscere le tipologie e le applicazioni dei sistemi robotici usati nell'industria e in altri settori dell'economia e dei servizi;
- Saper definire i modelli geometrici, cinematici e dinamici dei sistemi meccanici utilizzati in robotica;
- Saper pianificare, programmare e controllare le operazioni di tali macchine.

### **METODOLOGIA**

Le lezioni sono prevalentemente tenute proiettando appunti schematici, che sono resi disponibili agli studenti in rete. Il corso si avvale per le esercitazioni di strumenti informatici (software di analisi e simulazione – Matlab) disponibili presso le strutture della facoltà, e di un telelaboratorio con esperimenti reali accessibili in rete senza limitazioni di orario. Gli studenti sono invitati durante il corso a predisporre un certo numero di Tavole o esercitazioni scritte, raccolte e consegnate al docente al termine dell'anno.

### **PRE-REQUISITI**

Conoscenze di Meccanica razionale ed Applicata. Teoria dei Sistemi e del Controllo.

### **MODALITÀ DI VERIFICA**

- Prova orale articolata in uno o più esercizi da svolgere autonomamente, con l'uso del materiale del corso e di ogni altro materiale ritenuto utile; ed in una o più domande cui rispondere oralmente interagendo con la commissione.
- Valutazione delle Tavole o dei Progetti eventualmente svolti dai candidati;

## CONTENUTI E ARTICOLAZIONE TEMPORALE

### ROBOTICA I

- 1. INTRODUZIONE (L4, E0):** Modalità del corso; Automazione industriale e robotica; Origini, impieghi e prospettive della robotica; Classificazione dei robot industriali: veicoli autonomi, bracci articolati; Contenuti del corso.
- 2. GEOMETRIA E CINETO-STATICA (L15, E8):** Descrizione delle posizioni e delle orientazioni dei corpi rigidi; Matrici di rotazione e coordinate omogenee; Notazione di Denavit-Hartenberg; Cinematica diretta e inversa dei manipolatori; Matrici Jacobiane e singolarità cinematiche; Metodi iterativi per la soluzione del problema cinematico inverso; Trasformazioni di sistemi di forze; Dualità cineto-statica; Indici di destrezza;
- 3. DINAMICA (L10, E6):** Dinamica del corpo rigido; Equazioni e metodo di Eulero--Lagrange; Energia cinetica e potenziale di un manipolatore; Metodo di Newton--Eulero (cenni); Confronto tra gli algoritmi per la dinamica dei robot: metodi simbolici e numerici; Simulazione del moto di un manipolatore; Dinamica del manipolatore nel proprio spazio operativo; Proprietà della dinamica dei sistemi meccanici classici.
- 4. SISTEMI CON VINCOLI (L6, E4):** Vincoli cinematici. Vincoli olonomi e anolonomi; Sistemi articolati cooperanti. Forze interne ed equilibrio; Elasticità dei vincoli; Robot paralleli; Veicoli anolonomi; Indici di destrezza per sistemi vincolati; Dinamica dei sistemi vincolati;

### ROBOTICA II

- 5. PIANIFICAZIONE AUTOMATICA (L6,E4):** Cenni sui metodi di pianificazione del compito (task planning); Generalità sulla generazione automatica dei percorsi (path planning); Il problema del "piano mover" e tecniche di costruzione dello spazio delle configurazioni per poligoni convessi; Rappresentazioni dello spazio libero e metodi globali di ricerca del percorso; Metodi locali (campo potenziale artificiale, pianificazione non basate su modello); Pianificazione per sistemi anolonomi; Interpolazione di traiettorie (trajectory planning);
- 6. CONTROLLO (L15,E8):** Nonlinearità intrinseche ed accidentali nel modello dei robot; Tecniche di controllo nonlineare: metodi di geometria differenziale; Controllabilità e osservabilità di sistemi nonlineari; Linearizzazione in retroazione; Tecniche di controllo disaccoppiato sui giunti. Applicazione di controllori PD e PID; Effetti della flessibilità dei giunti e dei links; Tecniche di controllo centralizzato; Controllo robusto; Controllo adattivo; Controllo dell'interazione: controllo di forza e di impedenza; Controllo di veicoli anolonomi: stabilizzazione su una configurazione, su un percorso, su una traiettoria.
- 7. SENSORISTICA (L4,E2):** Trasduttori adottati nei robot articolati industriali; Trasduttori adottati nei veicoli autonomi industriali; Sistemi di trasduttori eterogenei: problemi di fusione sensoriale; Progetto di sistemi sensoriali: formulazione del problema; Equazioni di misura e matrice di informazione; Propagazione dell'errore di misura; Criteri di ottimizzazione del progetto di sensori.

## TESTI CONSIGLIATI

1. L. Sciavicco e B. Siciliano, ``Robotica Industriale-Modellistica e controllo di manipolatori'', McGraw--Hill, 1998.
2. S. LaValle, ``Planning Algorithms'', Cambridge University Press, 2006
3. R. E. Murray, Z. Li, and S.S. Sastry: ``A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation'', CRC Press, 1994.
4. M.W. Spong, M. Vidyasagar: ``Robot Dynamics and Control'', J. Wiley, 1989.
5. J.C. Latombe: ``Robot Motion Planning'', Kluwer, 1991.
6. J. Borenstein, H.R. Everett: ``Navigating mobile robots: systems and techniques'', A.K. Peters, 1996.