



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## REHABILITATION AND ASSISTIVE TECHNOLOGIES

### CALOGERO MARIA ODDO

Anno accademico	2023/24
CdS	BIONICS ENGINEERING
Codice	1105I
CFU	12

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION	ING-IND/34	LEZIONI	60	ANDREA BANDINI CALOGERO MARIA ODDO
ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION	ING-IND/34	LEZIONI	60	LEONARDO CAPPELLO SIMONA CREA

#### Obiettivi di apprendimento

#### Conoscenze

##### Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION

Il modulo "Biomechanics of human motion" intende introdurre la biomeccanica dei movimenti umani con specifico riferimento alle proprietà fisiologiche e fisiopatologiche dei sistemi biologici che sottendono l'orchestrazione spaziotemporale del movimento umano con gradi di libertà multipli. Questi obiettivi saranno raggiunti mediante lezioni teoriche e attività pratiche in laboratorio di analisi del movimento umano, utilizzando strumenti di acquisizione ed elaborazione dei dati e strumentazione e algoritmi per la cattura del movimento. Gli studenti e le studentesse acquisiranno quindi conoscenze utili a comprendere e padroneggiare i principali concetti della riabilitazione fisica/motoria e della robotica bioispirata.

Pertanto, in sintesi:

- L'obiettivo principale del modulo è proporre agli studenti e alle studentesse gli strumenti per investigare la biomeccanica del movimento umano così da permettere loro di comprendere alcuni dei principi fisiologici e delle condizioni patologiche alla base del controllo motorio.
- Verranno introdotti strumenti tecnici rilevanti, come sistemi e algoritmi di tracciamento del movimento e di acquisizione ed elaborazione dei dati.
- Questi obiettivi saranno perseguiti mediante lezioni teoriche accompagnate da esercitazioni numeriche e pratiche in laboratorio di biomeccanica del movimento umano.

##### Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION

Gli obiettivi del modulo 'Robotic and data-driven rehabilitation' sono di fornire gli strumenti per comprendere gli attuali trend nella robotica riabilitativa. Durante il corso saranno analizzati i principi fondamentali della modellazione robotica, al fine di fornire gli strumenti teorici necessari per analizzare criticamente le architetture dei robot nel contesto della robotica riabilitativa. Saranno introdotti concetti di ergonomia, antropometria e design universale, insieme a conoscenze teoriche e pratiche di materiali strutturali e materiali tessili tecnici utilizzati per la costruzione di macchine per la riabilitazione. Durante il corso, verranno presentati i robot di riabilitazione più rilevanti dello stato dell'arte, in congiunzione con studi clinici pertinenti.

Pertanto, in sintesi, il modulo consentirà di:

- Conoscere i principi fondamentali della robotica tradizionale e saperli analizzare nell'ambito della robotica riabilitativa.
- Conoscere e saper analizzare alcuni dei principali robot dello stato dell'arte nell'ambito della robotica riabilitativa.
- Conoscere e saper analizzare alcuni dei principali studi clinici condotti su robot riabilitativi.
- Conoscere il processo riabilitativo e il ruolo dell'ingegnere in tale processo, unitamente ai concetti di ergonomia, antropometria e progettazione universale.
- Conoscere i materiali strutturali utilizzati per la realizzazione di macchine riabilitative.
- Conoscere caratteristiche e tecniche di produzione di materiali tessili tecnici e le relative applicazioni in robotica riabilitativa.

#### Modalità di verifica delle conoscenze

##### Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION

La verifica delle conoscenze è ottenuta mediante un progetto a cui segue un esame orale.

##### Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION

La verifica delle conoscenze è ottenuta mediante un esame scritto e un esame orale.



## UNIVERSITÀ DI PISA

### Capacità

#### Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION

Al termine del corso, gli studenti e le studentesse:

- saranno in grado di descrivere la cinematica 3D del movimento umano;
- saranno in grado di stimare coppie articolari e reazioni ai giunti durante compiti motori dinamici;
- conosceranno i meccanismi alla base della contrazione muscolare e saranno in grado di modellizzare il sistema muscolo-tendine;
- conosceranno i principali metodi numerici per risolvere le equazioni del moto e stimare le variabili di stato del sistema;
- conosceranno i principali metodi per analizzare il segnale elettromiografico superficiale;
- conosceranno i principali strumenti utilizzati nei laboratori di analisi del movimento.

#### Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION

Gli studenti e le studentesse acquisiranno le capacità di:

- descrivere e saper analizzare la cinematica e dinamica di un robot mediante le equazioni fondamentali;
- implementare le equazioni fondamentali in ambiente di calcolo;
- analizzare un robot per riabilitazione da diversi punti di vista (es. cinematica, attuazione, controllo);
- analizzare criticamente uno studio clinico;
- applicare principi di ergonomia e di progettazione universale;
- scegliere materiali strutturali appropriati per applicazioni di robotica riabilitativa;
- scegliere i materiali tessili tecnici appropriati per effettuare programmazione meccanica di attuatori e sensori basati su tali materiali per applicazioni robotiche.

### Modalità di verifica delle capacità

#### Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION

La verifica delle abilità è ottenuta principalmente mediante un progetto e un esame orale.

#### Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION

La verifica delle abilità è ottenuta principalmente mediante un esame scritto e un esame orale.

### Comportamenti

#### Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION

Gli studenti e le studentesse:

- saranno in grado di analizzare e modellare criticamente la biomeccanica di un sistema biologico articolato;
- impareranno a gestire la responsabilità di partecipazione ad un team di progetto.

#### Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION

Gli studenti e le studentesse potranno:

- analizzare criticamente le prestazioni tecniche di un robot per riabilitazione;
- analizzare criticamente uno studio di validazione clinica di un robot riabilitativo;
- acquisire un approccio orientato al disabile per la progettazione di macchine riabilitative;
- analizzare criticamente la scelta di materiali strutturali e funzionali per robot riabilitativi.

### Modalità di verifica dei comportamenti

#### Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION

- Durante le sessioni di laboratorio saranno valutati il grado di attenzione e partecipazione attiva alle attività svolte.

#### Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION

- Durante le esercitazioni saranno valutati il grado di attenzione e partecipazione attiva alle attività svolte.

### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

#### Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION

Principi di Analisi Matematica, Geometria e Algebra, Fisica I (meccanica).

#### Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION

*Dai corsi di Matematica e Fisica:*

Conoscere i metodi matematici fondamentali. Sapere usare correttamente i sistemi di unità di misura.

*Da Scienza dei materiali:*

Conoscere le proprietà meccaniche dei comuni materiali metallici da costruzioni.



## UNIVERSITÀ DI PISA

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

#### Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION

Introduzione al Corso. Contenuti e obiettivi del Corso. Materiali del Corso. Presentazione della modalità degli esami. Modelli biomeccanici diretti e inversi. Piani anatomici e direzioni e altre definizioni anatomiche. Introduzione alla biomeccanica della camminata.

Misure della camminata nel piano orizzontale. Il ciclo di camminata. Parametri spazio-temporali della camminata. Forze di reazione al suolo durante la camminata. Centro di massa e considerazioni sull'energia per la camminata.

Il modello di camminata balistica e il numero di Froude. Il numero di Froude: effetto della velocità, lunghezza delle gambe e gravità. Costo del trasporto in funzione della velocità di camminata. Principali ossa, punti di riferimento anatomici e muscoli negli arti inferiori umani. Il modello dinamico di camminata. Camminatori dinamici passivi.

Il ruolo del movimento delle braccia nella camminata. Modelli più naturalistici per l'analisi della camminata. Cinematica della camminata: movimento del bacino. Cinematica della camminata: anca, ginocchio e caviglia. Forze di reazione al suolo e modulazione della velocità nella camminata. Camminate atipiche: camminata in posizione accovacciata. Camminate atipiche: camminata con ginocchio rigido. Cambiamenti nella camminata in diverse condizioni.

Il ciclo di corsa. Forze di reazione al suolo durante la corsa. Centro di massa e considerazioni sull'energia per la corsa. Modelli elastici di salto e corsa. Discretizzazione delle equazioni differenziali tramite il metodo di Eulero: l'oscillatore massa-molla-smorzatore.

Cinematica degli arti superiori. Uso del controller Leap Motion per il tracciamento della cinematica e della dinamica degli arti superiori. Uso della comunicazione UDP per la trasmissione dei dati cinetici degli arti superiori acquisiti tramite il controller Leap Motion.

Biomeccanica della manipolazione umana.

Acquisizione ed elaborazione di biosignali di movimento.

Modelli biomeccanici di corsa: da modelli a ordine minimo al controllo tramite apprendimento rinforzato. L'importanza della simulazione fisica nell'era dell'IA.

Programmazione grafica ed esempi pratici di biomeccanica del movimento con Labview.

Sistemi di cattura del movimento, mocap ottico, telecamere RGB-D, immagini digitali, basi della geometria proiettiva, modello della fotocamera a foro stenopeico, parametri estrinseci ed intrinseci, modelli di distorsione delle lenti.

Sistemi di cattura del movimento, ricostruzione 3D, mocap basato su marcatori, marcatori attivi e passivi, sistemi di cattura del movimento non ottici (tute inerziali, fibre ottiche, sensori elettromagnetici), piattaforma di forza, solette sensorizzate, tutorial in Python sulla acquisizione di immagini RGB-D.

Calibrazione della fotocamera, calibrazione della fotocamera di Zhang, target di calibrazione, stima dell'omografia, stima dei parametri intrinseci, stima dei parametri estrinseci, stima della distorsione delle lenti, tutorial in Python sulla calibrazione della fotocamera.

Sistema di cattura del movimento senza marcatori, concetti di reti neurali convoluzionali, rilevamento delle persone con l'apprendimento profondo, Region CNN, Fast RCNN, Faster RCNN.

Rilevamento delle persone con telecamere RGB, Yolo CNN, algoritmi basati su ancoraggi e senza ancoraggi per il rilevamento degli oggetti, rilevamento di oggetti singoli e multipli.

Stima della posa da telecamere RGB, tutorial in Python su come effettuare il rilevamento delle persone con l'apprendimento profondo, distribuzione degli algoritmi di rilevamento delle persone e calcolo delle metriche di prestazione pertinenti.

Discussione e assegnazione di progetti per gli esami del modulo.

#### Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION

Introduzione alla robotica riabilitativa. Classificazione delle disabilità (ICIDH, ICF). Il processo di riabilitazione e le sue fasi. Il ruolo dell'Ingegnere Riabilitativo. Esempi di macchine per la riabilitazione.

Fondamenti delle matrici di rotazione e degli angoli di Eulero.

Classificazione dei robot. Convenzione Denavit-Hartenberg (DH) per catene aperte e chiuse. Calibrazione cinematica. Il problema della cinematica inversa.

Derivazione delle formulazioni della velocità lineare e angolare in catene aperte. Calcolo dello Jacobiano geometrico in catene aperte e chiuse. Jacobiano analitico.

Il problema della cinematica inversa utilizzando la cinematica differenziale. Statica. Dualità cinetostatica in catene aperte e chiuse. Indici di manipolabilità.

Derivazione delle equazioni della dinamica.

Esempi di robot riabilitativi e analisi dell'architettura del robot (cinematica, sensori, attuazione e controllo). Analisi di studi clinici.

Ausili, il Nomenclatore Tariffario, principi di progettazione di carrozzine.

Ergonomia, errori del progettista, principi di progettazione universale, antropometria, modello HAAT.

Introduzione ai materiali strutturali per la costruzione di macchine per la riabilitazione.

Introduzione ai materiali tessili per la robotica. Applicazioni, materiali tessili, lavorazioni tessili, proprietà meccaniche delle strutture tessili, produzione 3D e finissaggi.

Attuatori e sensori a base tessile. Nozioni di base e applicazioni.

### Bibliografia e materiale didattico

#### Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION

1. Diapositive delle lezioni
2. Biomechanics of Movement, The Science of Sports, Robotics, and Rehabilitation, T. K. Uchida and S. L. Delp, MIT University Press
3. Biomechanics and Motor Control of Human Movement, D. A Winter, Wiley
4. Dynamic Modeling of Musculoskeletal Motion, G. T. Yamaguchi, Kluwer
5. Three-dimensional Analysis of Human Locomotion, P. Allard, A. Cappozzo, A. Lundberg, C. L. Vaughan, Wiley

#### Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION

Dispense e materiale fornito dal docente. Il materiale fornito è necessario per avere un quadro introduttivo alla materia.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

1. Cooper R. A. *Rehabilitation Engineering Applied to mobility and Manipulation*
2. Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G., *Robotics: Modelling, Planning and Control*
3. Colombo R., Sanguineti V., *Rehabilitation Robotics, technology and application*
4. Ashby M. F. *Materials Selection in Mechanical Design*

### Modalità d'esame

#### **Modulo di BIOMECHANICS OF HUMAN MOTION**

L'esame consisterà in un progetto di gruppo (2-4 studenti/studentesse) con discussione individuale sulle tematiche trattate nel corso.

- I temi dei progetti saranno proposti dal personale docente e gli studenti/le studentesse potranno scegliere liberamente quale tematica affrontare.
- Durante la discussione del progetto, verranno poste domande teoriche e applicative sugli argomenti del corso.
- L'esame di ritiene superato se lo studente/la studentessa raggiunge una votazione minima di 18/30.

#### **Modulo di ROBOTIC AND DATA-DRIVEN REHABILITATION**

L'esame è composto da una prova scritta e una orale.

- La prova scritta e la prova orale riguarderanno la padronanza degli argomenti del programma ufficiale del corso ai fini di una loro pratica applicazione in comuni problemi nell'ambito dell'ingegneria della riabilitazione. Durante le prove potrà essere richiesto al candidato di risolvere anche problemi/esercizi.
- La valutazione delle prove scritta e orale viene attribuita secondo i due criteri seguenti: i) correttezza delle risposte e ii) padronanza del linguaggio.

Ultimo aggiornamento 02/11/2023 19:05