

# Corso di Motor Control and Human Performance Assessment

## Domande d'esame

*Una tipica prova d'esame comprende tipicamente almeno un 'esercizio' (contrassegnato da '\*') e alcune domande. Nella valutazione l'esercizio ha peso almeno doppio di ciascuna delle domande.*

### A. Human movement

Levels of description of movement: kinematic, kinetic, muscle mechanics, physiology. Overview of movement analysis techniques. Terminology for description of human movements (limb movements, hand movements including manipulation). Reminder of neuroanatomy of the sensorimotor system.

1. Definire utilizzando la terminologia corretta tutti i possibili movimenti dell'arto superiore.
2. Descrivere la struttura scheletrica e i principali gruppi muscolari dell'arto inferiore specificando per questi ultimi origine, inserzione e funzione prevalente.
3. Spiegare con quali tipi di presa si può afferrare un oggetto sferico.
4. Spiegare con quali tipi di presa si può afferrare un oggetto cilindrico.
5. Nell'ambito dei movimenti di prensione della mano, quali sono le prese dette 'di precisione' e perché si chiamano così? Per ciascuna identificare quali sono le 'dita virtuali' e a quali dita effettive corrispondono.
6. Descrivere le caratteristiche di una articolazione 'a sella' e fornirne un esempio.
7. Per ciascuno dei seguenti tipi di articolazione: a cerniera (hinge), a perno (pivot), sferica (ball and socket), a sella (saddle) descrivere numero e tipo di gradi di libertà. Identificare quindi un esempio per ciascuna tipologia nel sistema scheletrico dell'uomo.
8. In che senso la corteccia motoria è organizzata in modo topografico?
9. Descrivere le componenti del 'sistema piramidale' e il suo ruolo nel controllo neurale dei movimenti.
10. Descrivere la struttura della circuiteria del cervelletto spiegando come e in che senso tale struttura ricorda quella di una rete neurale multi-strato.

### B. Muscle mechanics and control

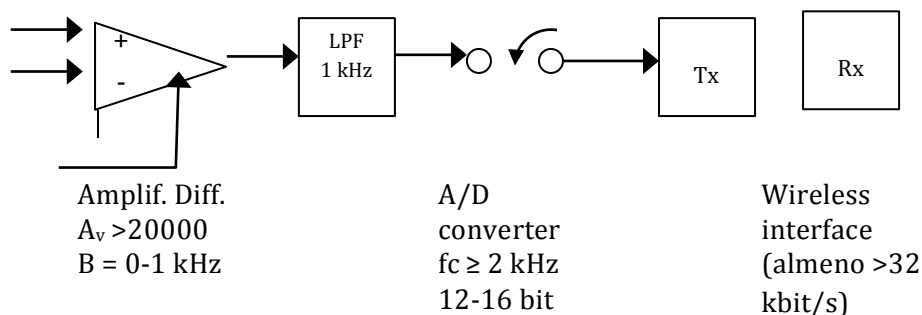
Reminder of muscle physiology. Fiber types: intrafusal, extrafusal. Hill's model of muscle force generation. Muscle as mechanical impedance. Types of muscles. Types of contraction (isometric, concentric, eccentric). The basis of EMG: Fiber types. Motor units. Size principle. From voluntary contraction to EMG signal. Recording techniques. Surface vs intramuscular EMG. The cross-talk problem. EMG signal: bandwidth, signal processing techniques: envelope, activation intervals, motor unit sorting, fatigue.

1. La teoria dello scorrimento dei filamenti descrive le basi molecolari della contrazione. In che cosa consiste? Come è la relazione fra forza contrattile e lunghezza del sarcomero predetta da questa teoria?
2. Descrivere i componenti del modello di Hill della cinetica muscolare, illustrandone i limiti di applicabilità e come questa possa essere estesa.
3. Nel modello di Hill del muscolo, che cos'è l' 'elemento serie' e che perché viene introdotto?
4. Descrivere somiglianze e differenze fra i muscoli scheletrici e gli attuatori muscolari McKibben.

5. Che cosa sono i muscoli pennati? Quali vantaggi hanno rispetto a quelli in cui le fibre sono allineate parallelamente alla direzione di azione?
6. Spiegare come si può stimare la massima forza contrattile di un muscolo a partire da informazioni sulla sua struttura (lunghezza, volume, ecc).
7. Discutere il principio della dimensione (size principle) nel reclutamento e nel de-reclutamento delle unità motorie e il suo ruolo nel controllo neuromuscolare.
8. Elencare le differenze (nelle metodiche di prelievo, nelle caratteristiche dei segnali, nelle applicazioni) fra l'elettromiografia a filo e quella di superficie. Quando si usa l'una e quando l'altra?
9. Descrivere le modalità di prelievo dei segnali elettromiografici. Spiegare in particolare perché occorrono amplificatori differenziali.
10. Nel contesto dell'EMG, spiegare che cos'è il cross-talk, come viene rilevato e quali sono le possibili contromisure.
11. Una misura dell'attività di un muscolo è costituita dall'involuppo del segnale EMG di superficie. Descrivere le elaborazioni necessarie a ricavare tale segnale a partire dai campioni del segnale EMG. Spiegare in che misura tale segnale riflette la forza che il muscolo sta esercitando.
12. \*Si vuole realizzare una protesi per l'arto superiore a controllo mioelettrico, utilizzando segnali EMG dai muscoli flessore ed estensore delle dita per comandare un singolo attuatore che produce una apertura o una chiusura della mano.
  - a. Definire uno schema a blocchi dei vari componenti fisici del dispositivo
  - b. Per ogni componente definirne le caratteristiche costruttive
  - c. Descrivere l'algoritmo di elaborazione necessario per tradurre i segnali EMG in comandi di rotazione per l'attuatore.
13. \*Si vuole costruire un dispositivo **indossabile** per monitorare l'affaticamento muscolare durante lo svolgimento di un esercizio prolungato (pedalata su una cyclette) e visualizzarlo mediante una applicazione per smartphone. Descrivere l'architettura hardware del dispositivo, le caratteristiche tecniche principali di ciascun modulo e le elaborazioni necessarie del segnale EMG.

#### Soluzione B.12

L'architettura hardware è schematizzata in figura:



Lo schema riporta inoltre i requisiti minimi di ciascun componente.

L'ingresso allo stadio di alimentazione è rappresentato da 3 elettrodi (2 di misura e uno di riferimento) per EMG di superficie.

L'interfaccia wireless deve avere una capacità di almeno  $2\text{kHz} \times 16\text{ bit} = 32000\text{ bit/s}$ , compatibile ad esempio con lo standard Bluetooth.

Per quando riguarda le elaborazioni necessarie, occorre stimare lo spettro del segnale (attraverso una FFT effettuata su una finestra mobile) e quindi valutarne la frequenza mediana o simile. L'affaticamento produce uno spostamento dello spettro verso le basse frequenze e quindi una diminuzione della frequenza mediana.

La app per smartphone potrebbe visualizzare questo parametro in modo continuativo.

14. \*Si vuole sviluppare un dispositivo in grado di identificare automaticamente gli istanti di attivazione di un certo numero di unità motorie di un singolo muscolo. Definire la strumentazione necessaria e per ciascun modulo specificarne i requisiti tecnici. Discutere inoltre le elaborazioni numeriche necessarie a partire dalla sequenza di campioni del segnale.
15. \*Si vuole stimare la forza equivalente (a livello dell'end effector) generata da un muscolo dell'arto superiore, durante movimenti planari, a partire da misure di EMG di superficie e da informazioni su angoli di spalla e gomito e corrispondenti velocità angolari. Definire uno schema a blocchi per le elaborazioni necessarie, che tenga conto della geometria del braccio, dei muscoli e della dinamica neuromuscolare (modello di Hill) indicando per ogni blocco quali parametri occorre stimare.
16. \*Per controllare gli attuatori di un robot indossabile usato per assistere in movimenti in persone con disturbi neurologici, si misura l'attività elettrica di una serie di muscoli e le rotazioni delle corrispondenti articolazioni. Queste informazioni vengono utilizzate per stimare la forza che i muscoli dovrebbero generare e infine le corrispondenti coppie articolari. Per stimare la forza per ogni muscolo si utilizza un modello di Hill costituito da un elemento contrattile e un elemento serie [NB:  $L = L_{CE} + L_{SE}$  ma  $F = F_{CE} = F_{SE}$ ]
  - a. Definire uno schema a blocchi contenente tutte le necessarie componenti hardware, indicando per ciascuna le caratteristiche tecniche.
  - b. Definire uno schema a blocchi delle elaborazioni necessarie

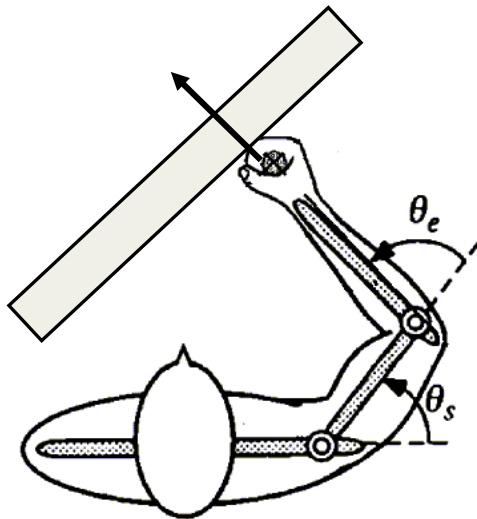
### C. Single- and Multi-Joint Neuromechanics

Reminder of rigid body mechanics: Newton-Euler and Lagrange Methods. A simple musculoskeletal system. Movement kinematics, dynamics, agonist and antagonist muscles. Multi-joint movement statics. Cartesian space, configuration space, muscle space. Jacobian. Isometric force control. The redundancy problem. Dynamics: equations of motion of kinematic chains. Neuromuscular viscoelasticity. Mechanical impedance and its measure.

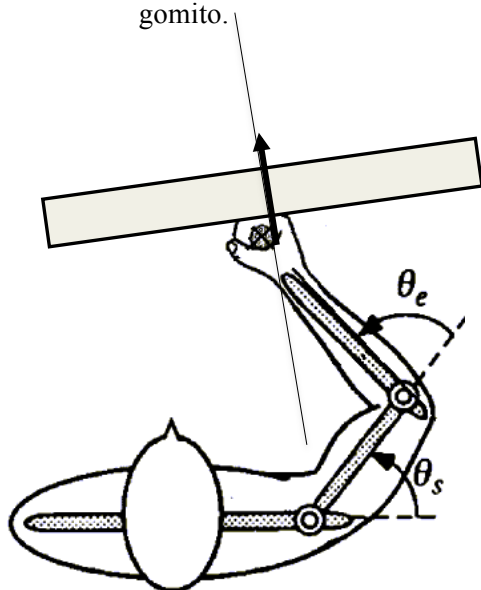
1. Discutere i meccanismi neurali attraverso cui è possibile controllare la rigidità (stiffness) di un gruppo di muscoli.
2. Illustrare le componenti del riflesso di stiramento e descriverne il ruolo nel controllo neuromuscolare.
3. \*Gli idrostati sono particolari sistemi meccanici caratterizzati dal fatto che manca lo scheletro e le forze muscolari vengono trasmesse e quindi tradotte in movimento sfruttando la conservazione del volume. La lingua protrattile di un camaleonte si può modellare come un idrostatato bi-dimensionale di dimensioni  $D \times d$  con dimensioni a riposo  $d = 3\text{ mm}$  e  $D = 3\text{ cm}$ . E' azionata da due muscoli, uno longitudinale (L) disposto lungo la dimensione maggiore e uno trasversale (T) disposto lungo la dimensione minore.
  - a) Determinare la velocità del centro di massa della lingua se a partire dalla sua lunghezza a riposo: il muscolo L si accorcia a  $1\text{ mm/s}$ ; il muscolo T si accorcia a  $1\text{ mm/s}$
  - b) Supponendo che la massa sia concentrata nel centro della struttura, scrivere l'equazione del moto [si trascuri l'effetto della gravità].
4. Dimostrare che in una catena cinematica con configurazione  $q$ , se viene applicata al suo effetto terminale una forza  $F$ , la coppia articolare  $\tau$  necessaria per mantenere l'equilibrio

è  $\tau = J(q)^T F$ , dove  $J(q)$  è il jacobiano della trasformazione cinematica diretta fra la configurazione  $q$  e la posizione  $x$  dell'effettore terminale.

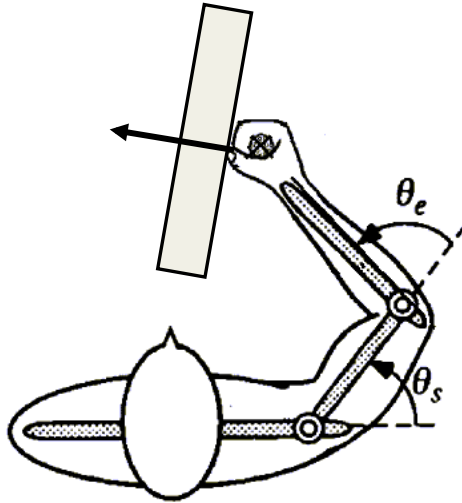
5. In che senso l'impedenza meccanica dell'arto superiore, misurata a livello della mano, è 'anisotropa'? Come si misura tale anisotropia?
6. \*Si consideri la situazione in figura, in cui il braccio esercita una forza isometrica contro una superficie piana, con l'avambraccio orientato ortogonalmente alla superficie. Ricavare una espressione per le coppie esercitate dai muscoli della spalla e del gomito. Quali muscoli sono presumibilmente attivi?



7. \*Si consideri la situazione in figura, in cui il braccio esercita una forza isometrica contro una superficie piana, orientata ortogonalmente alla retta congiungente la spalla con il punto di contatto con la superficie.
  - a. Soltanto usando considerazioni geometriche, specificare quali muscoli (della spalla, del gomito) sono presumibilmente attivi.
  - b. Ricavare una espressione per le coppie esercitate dai muscoli della spalla e del gomito.



8. \*Si consideri la situazione in figura, in cui il braccio esercita una forza isometrica contro una superficie piana. Soltanto usando considerazioni geometriche, specificare quali muscoli (della spalla, del gomito) sono presumibilmente attivi. Ricavare una espressione per le coppie esercitate dai muscoli della spalla e del gomito.



9. \*Data la matrice di stiffness:

$$K = \begin{bmatrix} 5 & 1 \\ 1 & 5 \end{bmatrix} \text{ [N/m]}$$

Determinare ellisse di stiffness e ellisse equipotenziale (per  $E_p = 1$  joule).