

Laboratorio di Meccanica Applicata alle Macchine

AA 2022-2023

Progetto

STUDENTI FREQUENTATI IL CORSO DI MAM

La discussione del progetto potrà essere parte integrante della prova orale (secondo le regole discusse nell'ambito di MAM). La discussione sarà individuale e varrà anche per la convalida del corso.

STUDENTI NON FREQUENTATI IL CORSO DI MAM

Per la convalida del corso dovranno presentare il progetto alla fine del corso stesso. L'attività di realizzazione e discussione del progetto può essere svolta in gruppo.

Descrizione del sistema

ARMEO Spring è un esoscheletro passivo antigravitario per la riabilitazione dell'arto superiore prodotto da Hocoma (<https://www.hocoma.com/solutions/arneo-spring/>) e rappresentato in Figura 1.



Figura 1 – ARMEO Spring (Hocoma).

Prima di iniziare un esercizio riabilitativo, si deve adattare manualmente il compenso antigravitario fornito da un meccanismo di molle. Sono poi presenti una gran numero di esercizi che si possono fare muovendosi sul piano o nello spazio tridimensionale e accoppiati con giochi interattivi su schermo.

Nello svolgimento di questo progetto, per semplificare l'analisi, considereremo un movimento di flessione-estensione della spalla svolto nel piano sagittale, bloccando il grado di libertà relativo alla flessione-estensione del gomito (come mostrato in aula durante l'illustrazione del progetto).

1. Set-up sperimentale

Per raccogliere informazioni sulla cinematica del movimento, utilizziamo il sistema ottico Polaris Vicra (<https://www.ndigital.com/products/polaris-vicra/>) che si avvale della ricostruzione tridimensionale della posizione di marker retroriflettenti passivi (per i dettagli ci si riferisca alla spiegazione effettuata durante la lezione in aula). Il Polaris Vicra, in particolare, si avvale dell'utilizzo di gruppi di marker passivi (tools) che permettono, grazie ad una geometria predefinita, un riconoscimento automatico del tool all'interno dell'immagine acquisita dalle telecamere.

I tool devono essere posizionati in punti strategici utili per la ricostruzione del movimento di interesse. Nel nostro caso, posizioneremo 5 tool in corrispondenza dei punti indicati in Figura 2.

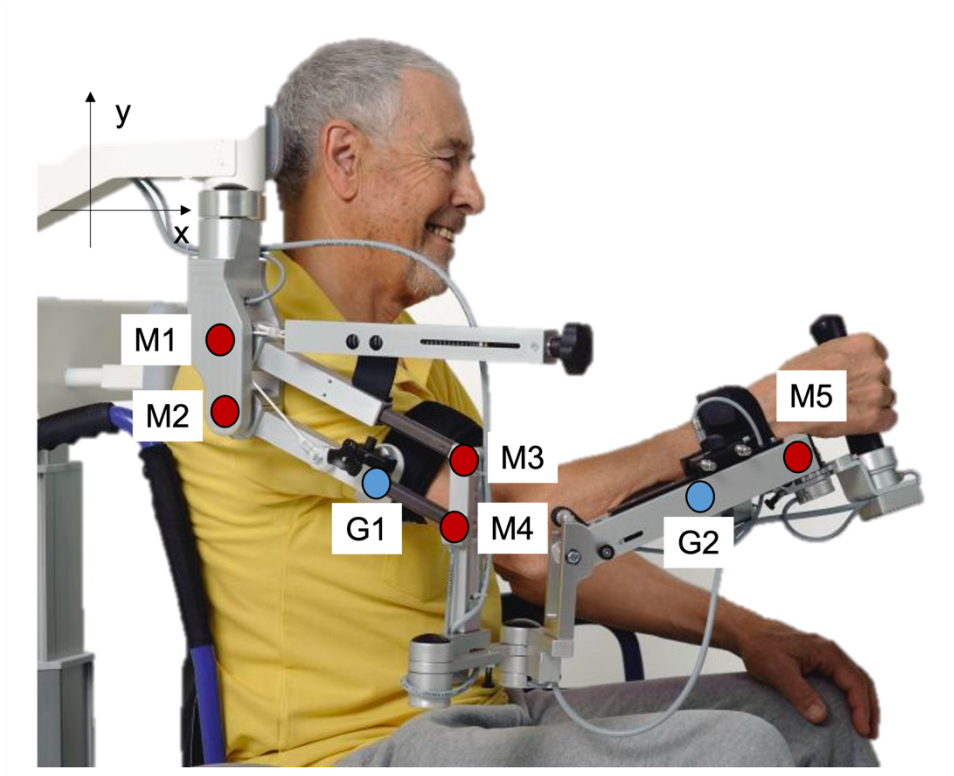


Figura 2. Posizionamento dei markers per la rilevazione del movimento (M1-M5) e rappresentazione dei baricentri di braccio (G1) e avambraccio (G2).

2. Schema cinematico

STEP2.1. Facendo riferimento al sistema presentato, disegnare lo schema cinematico corrispondente, considerando solo l'esoscheletro (i.e., senza includere il braccio che consideriamo solidale al movimento dell'esoscheletro), indicando esplicitamente a quali vincoli cinematici corrispondono i punti ritenuti significativi. Identificare nello schema cinematico la posizione dei marker (i.e., punti M1-M5 indicati in Fig. 2).

STEP2.2. Si indentifichino i gradi di libertà del sistema vincolato.

3. Analisi cinematica

Selezionare i dati da utilizzare per la risoluzione del progetto secondo il seguente criterio: identificare l'ultimo numero del codice persona e selezionare la matrice di dati corrispondente.

ES. codice persona 10197720 >> ultima cifra 0 >> seleziono la matrice zero.mat

STEP3.1 Calcolare la storia temporale della posizione del marker M2 partendo dai dati del marker M1 ed utilizzando come coordinata x la stessa del marker M1 e sapendo che il marker M2 si trova ad una distanza di 88mm dal marker M1 verso il basso lungo la coordinata y.

STEP3.2. Calcolare la lunghezza M1-M2, M1-M3, M2-M4 e M3-M4 a partire dai dati sperimentali. NB. Identificare e commentare possibili sorgenti di errore nella valutazione delle lunghezze derivate dai dati sperimentali a disposizione.

STEP3.3. Si rappresenti graficamente la traiettoria sperimentale dei punti acquisiti (i.e., M1, M2, M3, M4, M5).

STEP3.4. Si consideri che i dati sperimentali sono stati acquisiti su una donna alta 167cm di peso 6Xkg (dove X è la penultima cifra del codice persona) e si utilizzino le tabelle antropometriche fornite come materiale

aggiuntivo [Biomechanics and Motor Control of Human Movement, Fourth Edition David A. Winter 2009, John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-470-39818-0.

- i) Facendo uso delle tabelle antropometriche, si calcoli la posizione del baricentro del braccio G1 rispetto alla spalla (si consideri la spalla solidale al punto M2) e se ne rappresenti la traiettoria considerando il baricentro solidale al segmento M2-M4.
- ii) Facendo uso delle tabelle antropometriche, si calcoli la posizione del baricentro dell'avambraccio G2 rispetto al polso (si consideri il polso solidale al punto M5) e se ne rappresenti la traiettoria considerando il baricentro solidale al segmento M4-M5.

STEP3.5. Si calcoli l'escursione angolare (range of motion) della spalla.

STEP3.6. Calcolare, a partire dai dati sperimentali, le storie temporali della velocità e dell'accelerazione del punto M4 nel piano sagittale (ipotizzando che questo sia l'unico spostamento presente, i.e., non sono presenti spostamenti sul piano frontale) e rappresentarle graficamente.

STEP3.7. Risolvere teoricamente il cinematismo utilizzando come variabili note le storie temporali di velocità e accelerazione calcolate allo STEP3.6, derivare le storie temporali delle velocità e accelerazioni angolari dei punti M3 e M5 e rappresentarle graficamente. Commentare i risultati ottenuti.

STEP3.8. Confrontare le storie temporali della velocità e accelerazione del punto M5 derivato teoricamente allo STEP3.7 con le storie temporali sperimentali della velocità e dell'accelerazione e rappresentarle graficamente. Commentare i risultati ottenuti.

4. Dinamica

Per la risoluzione della sezione della dinamica, si assegni al sistema l'atto di moto dove il segmento M2-M4 ha un angolo pari a 0° rispetto all'orizzontale (i.e., il vettore giace sull'asse delle x del piano cartesiano rappresentato in Figura 2), considerando come posizione di partenza quella con la spalla estesa. Se ci sono più atti di moto che corrispondono a questa condizione, se ne selezioni arbitrariamente uno.

Per la definizione delle variabili di interesse, si derivi dai dati sperimentali la velocità e l'accelerazione del punto M4 (come svolto allo STEP 3.6) corrispondente all'atto di moto considerato (i.e., si identifichi l'atto di moto nella storia temporale sperimentale) e si derivi dal modello teorico derivato nello STEP 3.7 le altre variabili del sistema. Come direzione si consideri quella coerente con la posizione di partenza e l'atto di moto considerato.

STEP4.1. Calcolare e rappresentare graficamente il vettore velocità dei centri di massa di braccio (G1) e avambraccio (G2).

STEP4.2. Calcolare e rappresentare graficamente il vettore accelerazione dei centri di massa di braccio (G1) e avambraccio (G2).

Si derivino dalle tabelle antropometriche le masse di braccio e avambraccio. Si consideri la mano come massa concentrata posta a livello del polso (punto M5). Si ricavano dalle tabelle antropometriche i momenti di inerzia di braccio e avambraccio rispetto al rispettivo baricentro. Si modellizzino le forze dei muscoli flessori ed estensori della spalla come coppie opposte agenti a livello del braccio (Figura 3). Si ipotizzi un contributo normalizzato dei muscoli estensori pari al 10% dei muscoli flessori (per stabilità dell'articolazione) durante la flessione e viceversa.

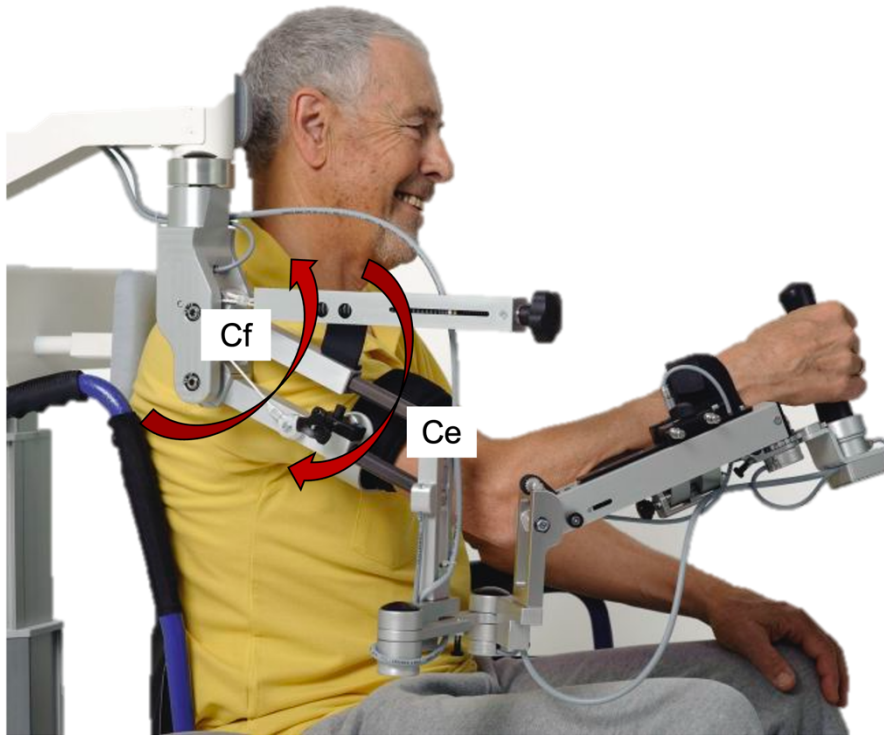


Figura 5. Rappresentazione delle coppie muscolari C_e =coppie estensione; C_f =coppie flessione.

STEP4.3. Considerando un contributo antigravitario dell'esoscheletro pari al peso del braccio applicato nel punto G1 e al peso dell'avambraccio nel punto G2, si calcoli la coppia muscolare necessaria a garantire l'atto di moto considerato (i.e., C_f , C_e).

STEP4.4. Si consideri lo stesso movimento effettuato senza il supporto antigravitario dell'esoscheletro e si calcoli la coppia muscolare necessaria a garantire lo stesso atto di moto considerato (i.e., C_f , C_e). Confrontare i risultati con quelli ottenuti allo STEP 4.3.

STEP4.5. Si vuole sostituire l'aggancio a terra dell'esoscheletro con un aggancio personalizzato alla carrozzina del paziente. Per farlo, bisogna progettare una struttura di supporto adeguata e di materiale adatto a sopportare gli sforzi in gioco durante la riabilitazione. Considerando il braccio+link exo come massa concentrata nel punto G1 e pari al peso del braccio+20% di tolleranza che includa il peso del link e l'avambraccio+link exo come massa concentrata nel punto G2 e pari al peso dell'avambraccio+20% di tolleranza che includa il peso del link, si calcolino le reazioni vincolari presenti nei punti di aggancio al telaio (i.e., M_1 , M_2). Per questa valutazione si consideri nullo il contributo delle coppie muscolari e della forza antigravitaria dell'esoscheletro.

STEP4.6. Se il soggetto fosse un uomo di 90kg e alto 190m come varierebbero le reazioni vincolari? Confrontare i risultati con quelli ottenuti allo STEP 4.5.

5. Vibrazioni

Per fornire al paziente un feedback che sia in grado di indicare l'avvenuta interazione con oggetti durante gli esercizi mediati da exergames si vuole utilizzare una vibrazione a livello dell'end-effector (cfr. Figura 6). Si consideri la modellazione semplificata del "grip module", sezione del dispositivo che genera la vibrazione, riportata in Figura 7 con:

- m : massa (concentrata) della mano del soggetto;

- r , k : rigidezza e costante di smorzamento dell'end-effector;
- y : segnale generato da un motorino dedicato al "grip module" per l'attuazione del feedback, dove A è l'ampiezza del segnale di eccitazione e Ω la sua frequenza;
- P : penultima cifra del codice persona.

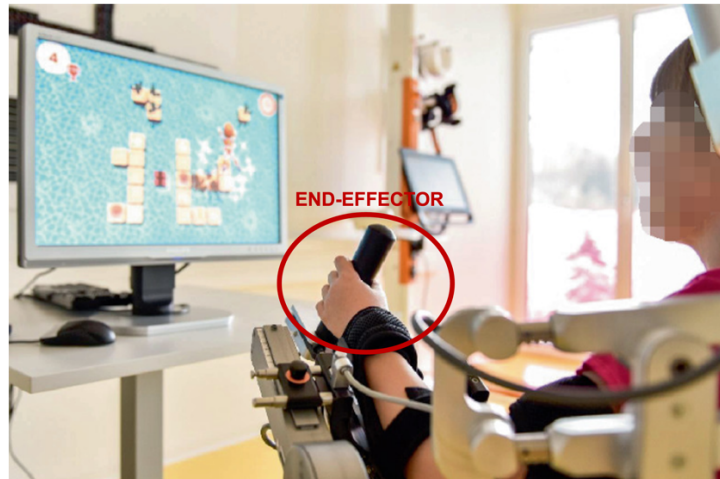


Figura 6. Rappresentazione del grip module.

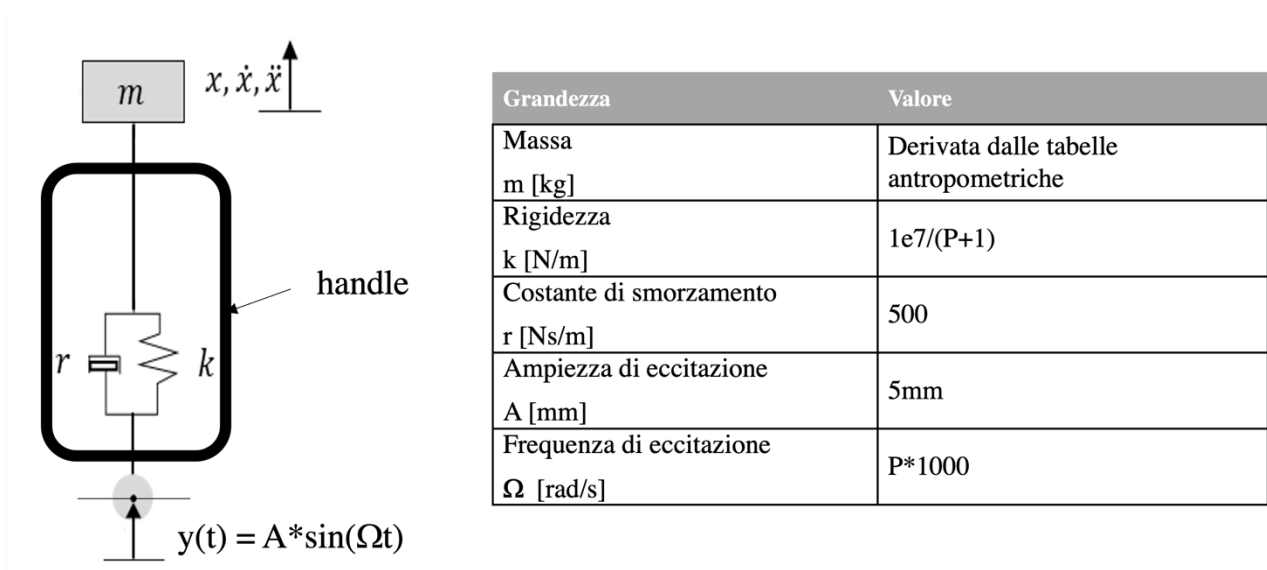


Tabella 1. Modello cinematico e valori numerici per la modellazione del "grip module".

STEP5.1. Si calcolino la frequenza propria e lo smorzamento adimensionale del sistema rispetto al suo moto verticale e si rappresenti graficamente la risposta libera.

STEP5.2. Si definisca la funzione di trasferimento tra l'oscillazione del segnale di eccitazione e l'ampiezza della vibrazione di feedback all'end-effector in funzione della pulsazione del segnale di eccitazione. Si rappresenti graficamente la risposta forzata del sistema e si identifichi sul grafico la risposta del sistema per una pulsazione di eccitazione pari a Ω .

STEP5.3. Si discuta la scelta della pulsazione di eccitazione Ω e si argomenta una possibile scelta progettuale diversa da quella fornita dal testo.