



POLITECNICO
MILANO 1863

FONDAMENTI DI ROBOTICA

A.A. 2022-2023

PROF. ROCCO

24 GENNAIO 2024 - QUARTO APPELLO

COGNOME E NOME: _____

MATRICOLA: _____

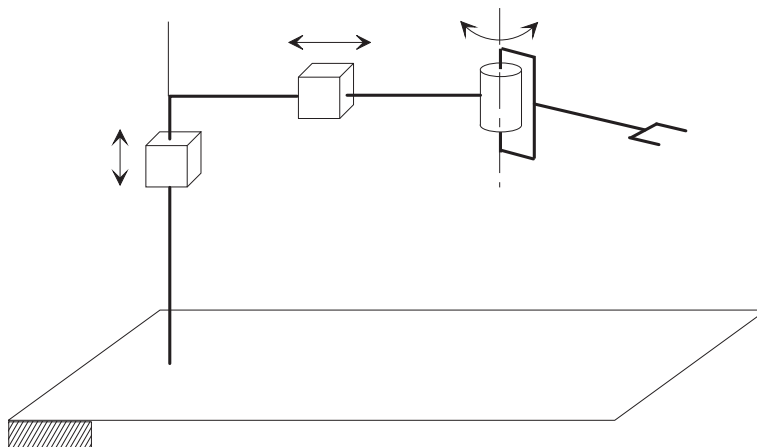
FIRMA: _____

Avvertenze:

- Il presente fascicolo si compone di **8** pagine (compresa la copertina). Firmare il frontespizio.
- Durante la prova non è consentito uscire dall'aula per nessun motivo se non consegnando il compito o ritirandosi.
- Nei primi 30 minuti della prova non è consentito ritirarsi.
- Durante la prova non è consentito consultare libri o appunti di alcun genere.
- Non è consentito l'uso di calcolatrici con display grafico.
- Le risposte vanno fornite **esclusivamente negli spazi** predisposti. Solo in caso di correzioni o se lo spazio non è risultato sufficiente, utilizzare la controcopertina del fascicolo.
- La chiarezza e l'**ordine** delle risposte costituiranno elemento di giudizio.
- Al termine della prova va consegnato **solo il presente fascicolo**. Ogni altro foglio eventualmente consegnato non sarà preso in considerazione.

Esercizio 1

Si consideri il manipolatore disegnato in figura:



Domanda 1.1 Si riportino, sulla figura stessa, le terne secondo la convenzione di Denavit-Hartenberg e si compili la relativa tabella dei parametri:

	a	α	d	ϑ
1				
2				
3				

Domanda 1.2 Per il manipolatore dato, si scrivano le equazioni della cinematica diretta relativamente alla sola posizione. ¹

¹Si ricorda, nel caso la si ritenga utile per la soluzione dell'esercizio, l'espressione della matrice di trasformazione omogenea tra due terne consecutive:

$$\mathbf{A}_i^{i-1} = \begin{bmatrix} c\vartheta_i & -s\vartheta_i c\alpha_i & s\vartheta_i s\alpha_i & a_i c\vartheta_i \\ s\vartheta_i & c\vartheta_i c\alpha_i & -c\vartheta_i s\alpha_i & a_i s\vartheta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Domanda 1.3 Per il manipolatore dato, si determini lo Jacobiano geometrico (relativo alle sole velocità lineari), evidenziando i punti di singolarità.

Domanda 1.4 Si spieghi se per il manipolatore dato la terna 3 è orientata come una terna $\mathbf{n}, \mathbf{s}, \mathbf{a}$. In caso contrario, si specifichi la matrice di rotazione della terna $\mathbf{n}, \mathbf{s}, \mathbf{a}$ rispetto alla terna 3.

Esercizio 2

Domanda 2.1 Si consideri la generazione della traiettoria di posizione nello spazio Cartesiano. Si prenda come punto iniziale: $\mathbf{p}_i = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ e come punto finale $\mathbf{p}_f = \begin{bmatrix} 2 \\ -1 \\ \sqrt{2} \end{bmatrix}$. Si scriva l'espressione di un segmento che connetta i punti iniziale e finale, parametrizzato con l'ascissa curvilinea.

Domanda 2.2 Assumendo un tempo di percorrenza $T = 1s$, si progetti una traiettoria che copra il cammino geometrico prima determinato, usando un profilo di velocità trapezoidale con tempo di accelerazione $T_a = 0.2s$. Si determinino in particolare l'accelerazione iniziale e la velocità di crociera dell'end effector.

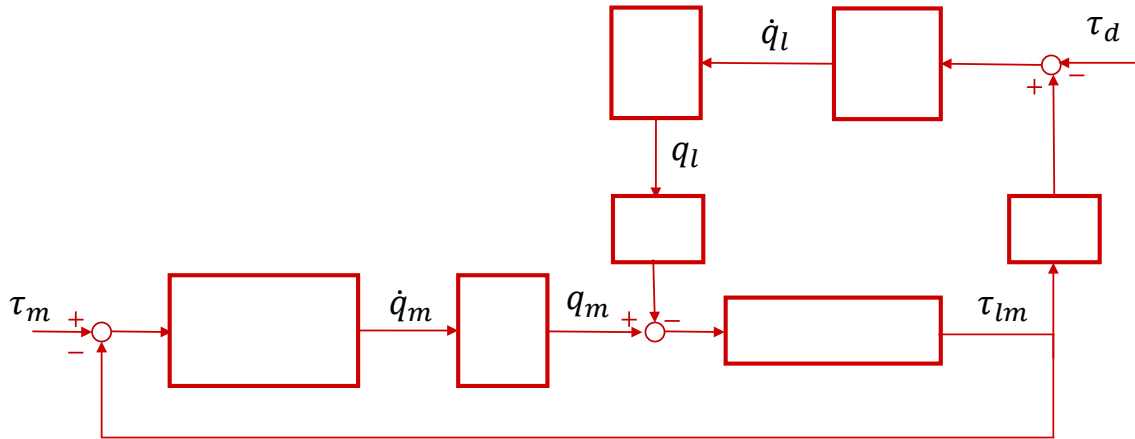
Domanda 2.3 Si supponga ora che il massimo valore raggiungibile dalla velocità dell'end effector sia quello calcolato al punto precedente, ma che la massima accelerazione sia limitata a $\frac{4}{5}$ di quella precedentemente calcolata. Si determini il minimo tempo di posizionamento nel caso si vogliano raggiungere sia la massima accelerazione, sia la massima velocità, e lo si confronti con il tempo di posizionamento imposto al punto precedente.

Domanda 2.4 Nelle traiettorie a profilo di velocità trapezoidale l'accelerazione presenta delle discontinuità. Si disegni un profilo di accelerazione che possa ovviare a questo inconveniente, pur mantenendo un tratto centrale della traiettoria a velocità costante.

Esercizio 3

Si consideri un servomeccanismo elastico.

Domanda 3.1 Definendo τ_m la coppia motrice, τ_{lm} la coppia trasmessa tra motore e carico, τ_d una coppia di disturbo lato carico, q_m e \dot{q}_m posizione e velocità lato motore, q_l e \dot{q}_l posizione e velocità lato carico, e facendo riferimento alla seguente figura, si completi lo schema a blocchi corrispondente al modello dinamico del servomeccanismo:



Domanda 3.2 Si tracci l'andamento qualitativo del diagramma di Bode del modulo della risposta in frequenza da coppia motrice a velocità motore (in assenza della coppia di disturbo τ_d e nell'ipotesi $D_m = 0$) e si confronti tale diagramma con quello dell'approssimazione rigida della stessa risposta in frequenza.

Domanda 3.3 Si assumano ora i seguenti valori dei parametri fisici:

$$\begin{aligned}J_m &= 0.01 \text{kgm}^2 \\D_m &= 0 \\ \rho &= 1\end{aligned}$$

Nel corso di un esperimento eseguito bloccando meccanicamente il motore, si sono riscontrate sul carico oscillazioni poco smorzate di periodo pari a 0.0314 s.

Si determini un valore della costante elastica K_{el} della trasmissione compatibile con i dati del problema.

Domanda 3.4 Si determinino il guadagno proporzionale e il tempo integrale di un regolatore PI di velocità opportunamente tarato.