



POLITECNICO
MILANO 1863

FONDAMENTI DI ROBOTICA

A.A. 2022-2023

PROF. ROCCO

15 GIUGNO 2023 - PRIMO APPELLO

COGNOME E NOME: _____

MATRICOLA: _____

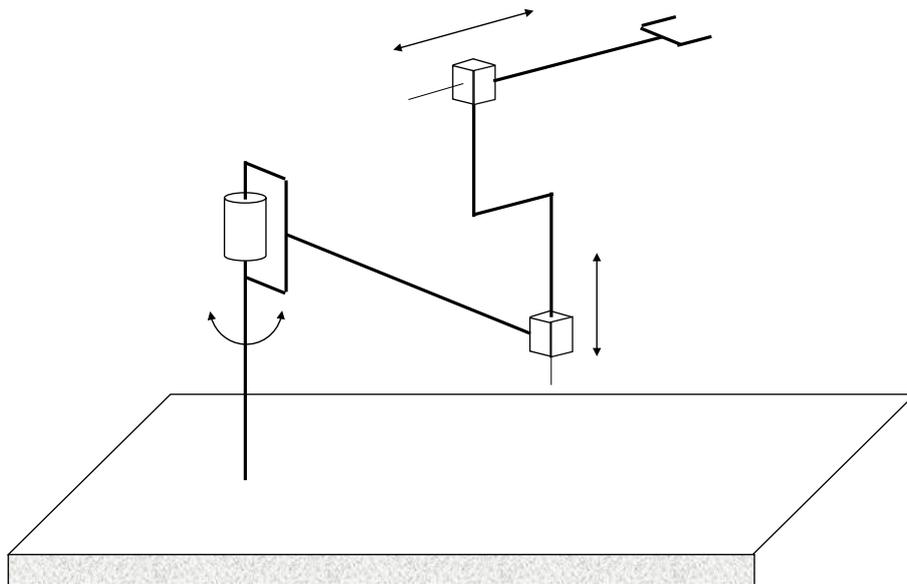
FIRMA: _____

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 consideri il manipolatore nella configurazione in cui $\vartheta_1 = 0$. Si scriva l'espressione della matrice di trasformazione omogenea della terna 3 rispetto alla terna 0. Si scrivano quindi le coordinate in terna 0 di un punto che ha coordinate $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ in terna 3.

Esercizio 2

Domanda 2.1 Si ricavi l'espressione di una traiettoria cubica che porti la variabile $s(t)$ dal valore iniziale $s_i = 0$ al valore finale $s_f = 4$, in un intervallo di tempo di $2s$, con velocità iniziale e finale nulle.

Domanda 2.2 Si consideri ora la generazione della traiettoria della posizione nello spazio Cartesiano del TCP di un robot. Si prenda come punto iniziale: $\mathbf{p}_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ e come punto finale $\mathbf{p}_f = \begin{bmatrix} 0 \\ k \\ \sqrt{3} \end{bmatrix}$. Si scriva l'espressione di un segmento che connetta i punti iniziale e finale, parametrizzato con l'ascissa curvilinea, e si determini il parametro k in modo tale da poter utilizzare l'ascissa curvilinea $s(t)$ calcolata precedentemente.

Domanda 2.3 Si determini il valore massimo della velocità del TCP nel moto pianificato al punto precedente.

Domanda 2.4 Si supponga di voler programmare un moto del robot nello spazio operativo dalla posizione corrente alla posizione \mathbf{P}_f con un percorso lineare del TCP, con velocità di 1.5 m/s. Si scriva la corrispondente istruzione di moto nel linguaggio PDL2 di Comau.

Esercizio 3

Si consideri un sistema di controllo P/PI per un servomeccanismo elastico. Si assumano i seguenti valori dei parametri fisici:

$$\begin{aligned}J_m &= 0.01 \text{ kgm}^2 \\D_m &= 0 \\ \rho &= 1.5\end{aligned}$$

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.

Domanda 3.1 Si determini un valore della costante elastica K_{el} della trasmissione compatibile con i dati del problema.

Domanda 3.2 Si considerino le funzioni di trasferimento $G_{vm}(s)$ da coppia motore a velocità motore e $G_{vl}(s)$ da coppia motore a velocità carico (riferita all'asse motore) per un generico servomeccanismo elastico (con $D_m = 0$). Per entrambe le funzioni di trasferimento si rappresentino nel piano complesso poli e zeri.

Domanda 3.3 Per il servomeccanismo della domanda 3.1, si determinino il guadagno proporzionale e il tempo integrale di un regolatore PI di velocità opportunamente tarato.

Domanda 3.4 Si supponga ora di aumentare significativamente, per esempio raddoppiandolo o triplicandolo, il guadagno del controllore di velocità. Si tracci l'andamento qualitativo del diagramma di Bode del modulo della risposta in frequenza in anello chiuso dal riferimento di velocità alla velocità lato carico (riferita all'asse motore), commentando il risultato.