



POLITECNICO
MILANO 1863

FONDAMENTI DI ROBOTICA

A.A. 2024-2025

PROF. ROCCO

11 FEBBRAIO 2026 - QUINTO APPELLO

COGNOME E NOME: _____

MATRICOLA: _____

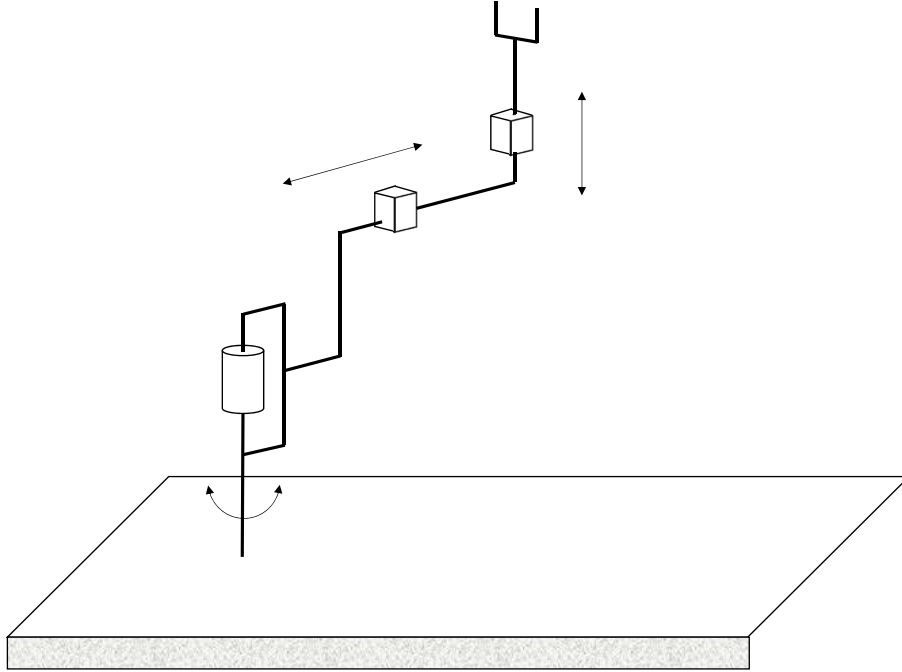
FIRMA: _____

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 Per un generico manipolatore, si spieghi con precisione qual è la differenza tra le nozioni di Jacobiano geometrico e Jacobiano analitico e che relazione sussiste tra di essi.

Esercizio 2

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

Domanda 2.2 Adottando una legge oraria cubica rispetto al tempo, si progetti una traiettoria che copra il cammino geometrico prima determinato in un tempo $T = 2s$.

Domanda 2.3 Con riferimento alla legge oraria progettata al punto precedente, si disegnino con precisione i grafici dei profili di posizione, velocità e accelerazione.

Domanda 2.4 Si supponga ora che per coprire la stessa distanza, nello stesso tempo, del profilo progettato precedentemente si scelga un polinomio di grado 5 rispetto al tempo. Si disegnino qualitativamente i grafici dei profili di posizione, velocità e accelerazione risultanti.

Esercizio 3

Domanda 3.1 Si illustri il principio di funzionamento del motore brushless, spiegando le principali differenze con il motore DC a corrente continua. Si specifichi se, e per quale motivo, occorre disporre della misura della posizione del rotore per il corretto funzionamento del motore brushless.

Domanda 3.2 Si spieghi come è possibile, in un motore brushless sinusoidale, rendere la coppia indipendente dall'angolo di rotazione.

Domanda 3.3 Si spieghi che cosa si intende per ripple di coppia e per quale motivo questo fenomeno può causare problemi nel controllo del moto di un robot.

Domanda 3.4 Si illustri il criterio di *inertia matching* nel dimensionamento di un sistema motore-riduttore-carico. Si spieghi in particolare qual è la cifra di merito ottimizzata dal criterio.