



POLITECNICO
MILANO 1863

FONDAMENTI DI ROBOTICA

A.A. 2025-2026

PROF. ROCCO

17 LUGLIO 2026 - SECONDO APPELLO

COGNOME E NOME: _____

MATRICOLA: _____

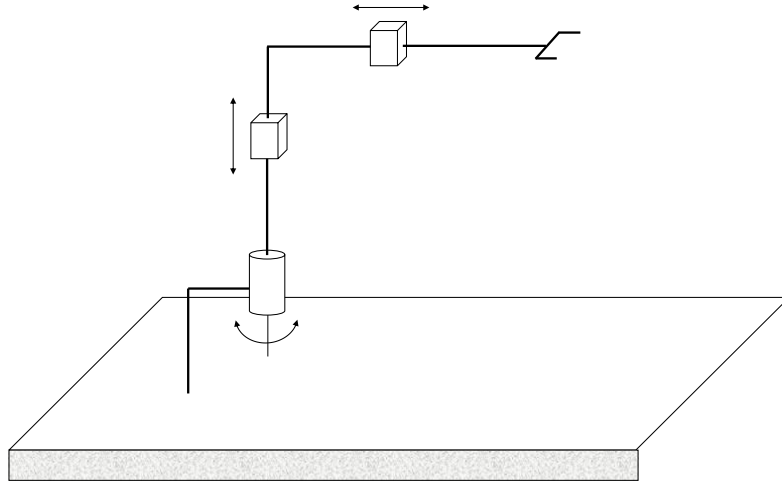
FIRMA: _____

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 posizione¹.

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 Volendo caratterizzare la cinematica del robot in funzione di una terna base genericamente posizionata sul pavimento alla base del robot, e con stesso orientamento della terna 0, scrivere l'espressione della matrice di trasformazione omogenea $\mathbf{T}_0^b$.

Esercizio 2

Domanda 2.1 Si consideri la seguente istruzione nel linguaggio di programmazione RAPID di ABB:

```
MoveL tPreso, v100, z50, tVentosa
```

Si spieghi qual è l'interpretazione di questa istruzione, specificando con precisione il significato di tutti i simboli utilizzati. In particolare, si spieghi se **tPreso** è un *robtarget* o un *jointtarget*, illustrando il significato di queste espressioni.

Domanda 2.2 Si supponga ora di dover pianificare il moto dell'end effector di un robot lungo un percorso lineare che parte da $\mathbf{p}_i = [1 \quad \sqrt{2} \quad 1]^T$ e termina nell'origine del sistema di riferimento. Si scriva l'espressione del segmento, parametrizzato nell'ascissa curvilinea.

Domanda 2.3 Assumendo un tempo di posizionamento $T = 1s$, 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 2.4 Nelle traiettorie a profilo di velocità trapezoidale l'accelerazione presenta delle discontinuità. Si spieghi perché questo può costituire un problema nella pianificazione di una traiettoria e si disegni un profilo di accelerazione che possa ovviare a questo inconveniente, pur mantenendo un tratto centrale della traiettoria a velocità costante.

Esercizio 3

Domanda 3.1 Si riportino le equazioni del modello della dinamica elettrica di un motore elettrico a corrente continua e si spieghi come si imposta il relativo problema di sintesi del controllo di corrente/coppia.

Domanda 3.2 Scrivere le relazioni che legano la coppia motrice alla corrente e la forza contro elettromotrice alla velocità del motore. Esplicitare quale sia la relazione tra le due costanti che compaiono in tali relazioni.

Domanda 3.3 Si assuma che l'inerzia del rotore sia pari a $J_m = 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ e che quella del carico risulti invece $J_l = 3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ e si dimensioni il rapporto di riduzione con il criterio dell'*inertia matching*. Si supponga quindi di voler tarare il regolatore proporzionale-integrale di velocità con una pulsazione critica di $\omega_{cv} = 140 \text{ rad/s}$. Si determini il minimo valore della costante elastica K_{el} affinché tale taratura si possa considerare robusta rispetto alla presenza di elasticità nel giunto.

Domanda 3.4 Prendendo ora il valore limite di K_{el} determinato al punto precedente, si supponga di moltiplicare di un fattore 5 il valore della pulsazione critica ω_{cv} . Si stimi il periodo delle oscillazioni del carico in questa situazione.