



POLITECNICO
MILANO 1863

FONDAMENTI DI ROBOTICA

A.A. 2022-2023

PROF. ROCCO

12 SETTEMBRE 2023 - TERZO APPELLO

COGNOME E NOME: _____

MATRICOLA: _____

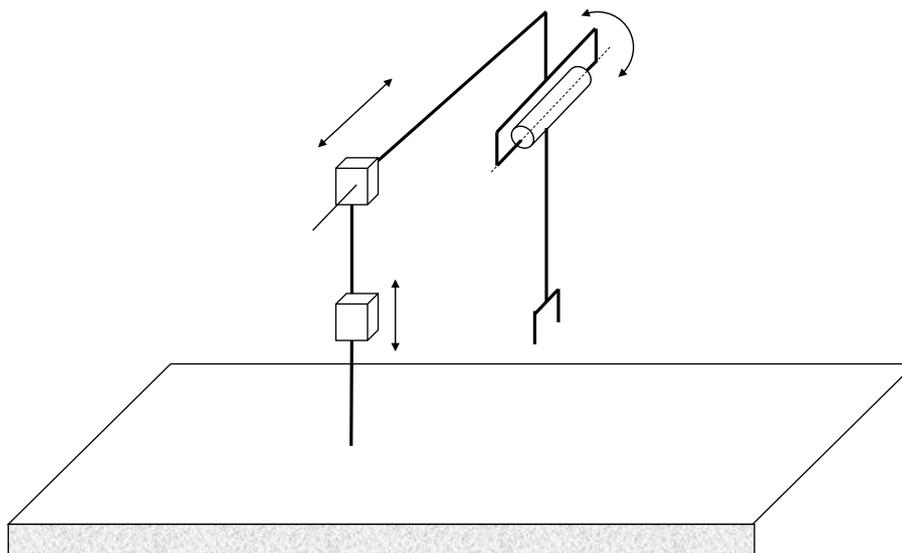
FIRMA: _____

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 ².

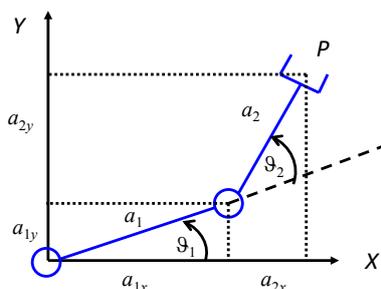
Domanda 1.4 Per il manipolatore nella configurazione disegnata si scriva l'espressione della matrice di trasformazione omogenea della terna 3 rispetto alla terna 0.

²Si ricorda che il prodotto vettoriale tra i vettori $a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$ e $b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$ è $c = a \times b = \begin{bmatrix} a_2 b_3 - a_3 b_2 \\ a_3 b_1 - a_1 b_3 \\ a_1 b_2 - a_2 b_1 \end{bmatrix}$

Esercizio 2

Domanda 2.1 Si determini la relazione che sussiste per un generico manipolatore tra le coppie τ applicate ai giunti e la forza \mathbf{f} e il momento μ applicati all'end effector.

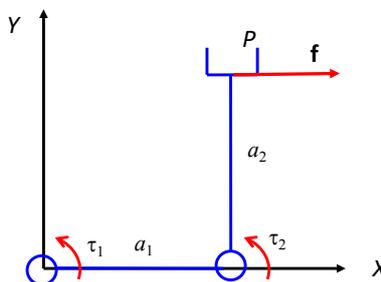
Domanda 2.2 Ricordando che per un manipolatore a due gradi di libertà:



lo Jacobiano geometrico assume la seguente espressione:

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} -a_1 s_1 - a_2 s_{12} & -a_2 s_{12} \\ a_1 c_1 + a_2 c_{12} & a_2 c_{12} \end{bmatrix}$$

si determinino le coppie τ_1 e τ_2 che equilibrano la forza \mathbf{f} nella configurazione riportata in figura:

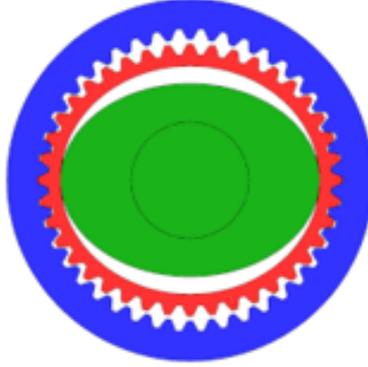


Domanda 2.3 Si dia la definizione di misura di manipolabilità e si spieghi perché, per un manipolatore a due gradi di libertà, la configurazione riportata nella figura del punto precedente massimizza tale misura.

Domanda 2.4 Si diano la definizione e l'espressione dell'ellissoide di manipolabilità in forza, spiegando come la relazione discussa al primo punto di questo esercizio viene utilizzata per trovare tale espressione.

Esercizio 3

Domanda 3.1 Facendo riferimento alla seguente figura, si spieghi come sono chiamati i tre elementi che compongono un Harmonic Drive e a quali parti meccaniche rispettivamente sono solidali.



Domanda 3.2 Si consideri ora l'accoppiamento tra un motore di momento di inerzia J_m e un carico di momento di inerzia J_l . Qual è il valore che deve assumere il rapporto di trasmissione n secondo il criterio dell'*inertia matching* (accoppiamento di inerzia)? Che cifra di merito massimizza questo criterio?

Domanda 3.3 Si supponga ora che in un servomeccanismo rigido $J_m = 0.003 \text{ kgm}^2$, $J_l = 30 \text{ kgm}^2$ e si adotti per la scelta del rapporto di trasmissione il criterio prima enunciato. Si progetti un regolatore PI di velocità in modo da ottenere una pulsazione critica $\omega_{cv} = 200 \text{ rad/s}$

Domanda 3.4 Si illustri il motivo per cui in alcuni sistemi di controllo per servomeccanismi si inserisce un anticipo di velocità.