



POLITECNICO
MILANO 1863

FONDAMENTI DI ROBOTICA

A.A. 2022-2023

PROF. ROCCO

20 LUGLIO 2023 - SECONDO APPELLO

COGNOME E NOME: _____

MATRICOLA: _____

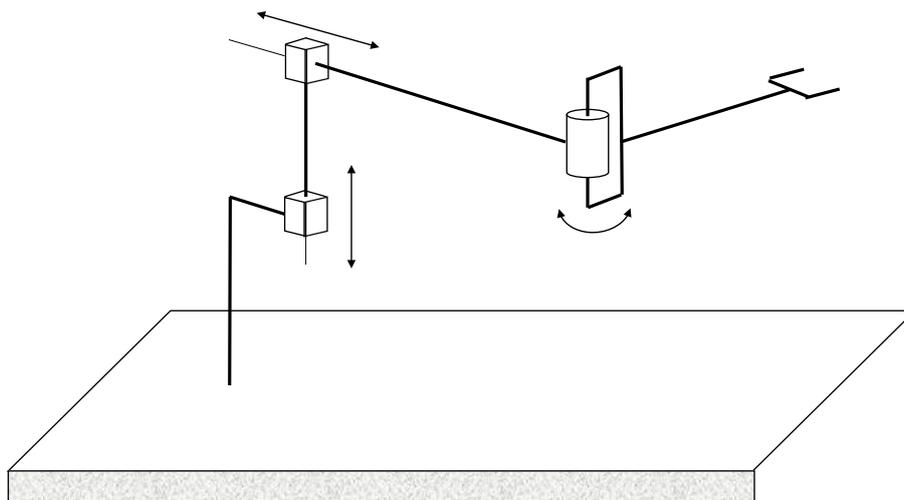
FIRMA: _____

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 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 $\vartheta_3 = 0$ e alla terna utensile viene applicata una forza di -10 N in direzione y_3 . Si calcoli il vettore di forze/coppie che il sistema di attuazione deve fornire al fine di bilanciare la forza esterna.

Esercizio 2

Domanda 2.1 Si consideri una traiettoria a profilo di velocità trapezoidale. Si ricavi l'espressione della velocità \dot{q}_v nel tratto centrale (velocità di crociera) noti il tempo di posizionamento T , il tempo di accelerazione T_a e la distanza da percorrere h .

Domanda 2.2 Si consideri ora la generazione della traiettoria con profilo di velocità trapezoidale per una variabile $q(t)$ con i seguenti dati:

$$\begin{aligned} q_i &= 0 & q_f &= 45^\circ \\ \dot{q}_{\max} &= 10^\circ/s & \ddot{q}_{\max} &= 10^\circ/s^2 \end{aligned}$$

Si determinino il minimo tempo di posizionamento T e il relativo tempo di accelerazione T_a

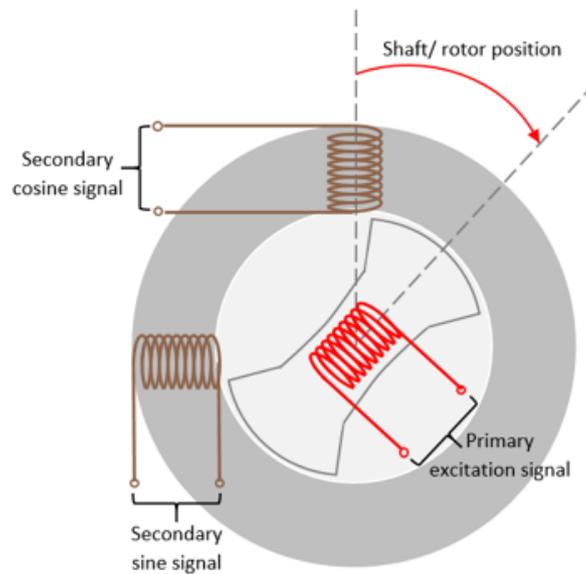
Domanda 2.3 Con riferimento alla pianificazione del punto precedente, si supponga che il tempo di posizionamento sia aumentato del 30%, senza modificare il tempo di accelerazione. Si determini la velocità di crociera che si ottiene a seguito del cambiamento del tempo di posizionamento.

Domanda 2.4 Si supponga ora che la pianificazione del punto precedente sia usata per l'angolo nella rappresentazione asse-angolo adottata nella pianificazione dell'orientamento dell'end effector del robot. Assumendo che l'asse della rappresentazione asse-angolo sia $\mathbf{r} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$, si scriva l'espressione della matrice di rotazione che definisce l'orientamento finale rispetto a quello iniziale.

Esercizio 3

Domanda 3.1 Si spieghi come è possibile, in un motore brushless sinusoidale, rendere la coppia indipendente dall'angolo di rotazione.

Domanda 3.2 Per il funzionamento di un motore brushless è necessaria la misura della posizione relativa tra rotore e statore. Facendo riferimento alla seguente figura, si spieghi sinteticamente (senza ricorrere a formule) il principio di funzionamento di un resolver



Domanda 3.3 Si consideri ora un encoder assoluto. Sulla base del principio di funzionamento, si ricavi la formula che esprime la risoluzione dello strumento. Si determini quindi il numero minimo di tracce per avere una risoluzione inferiore al decimo di grado.

Domanda 3.4 Dalle misure di un encoder si può ricavare anche una misura indiretta delle velocità. Si illustrino i metodi a tempo fisso e a spazio fisso utilizzati a tal scopo.