

# Controllo del moto e robotica industriale

(Prof. Rocco)

Appello del  
27 Gennaio 2010

Cognome:.....

Nome: .....

Matricola:.....

Firma:.....

## Avvertenze:

- Il presente fascicolo si compone di **8** pagine (compresa la copertina). Tutte le pagine utilizzate vanno firmate.
- 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 il retro del frontespizio 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.

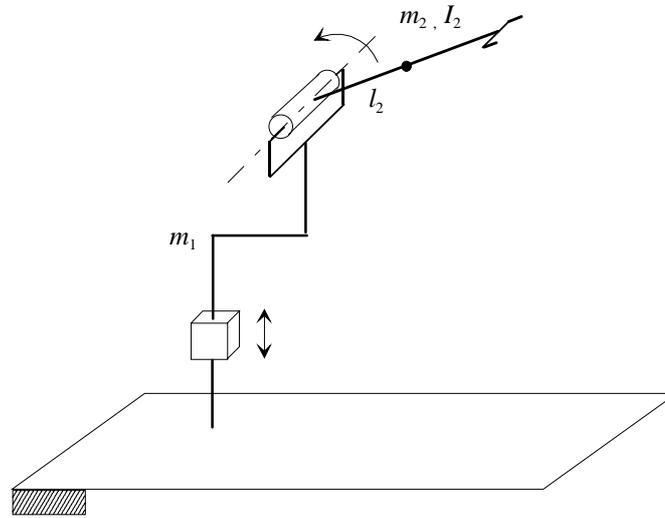
Firma:.....

---

**Utilizzare questa pagina SOLO in caso di correzioni o se lo spazio a disposizione per qualche domanda non è risultato sufficiente**

**Esercizio 1**

Si consideri il manipolatore riportato in figura:



1.1 Si posizionino sulla figura stessa le terne di Denavit-Hartenberg.

1.2 Si determini l'espressione della matrice di inerzia del manipolatore, con il metodo che prevede il calcolo degli Jacobiani dei baricentri dei link del manipolatore.

**1.3** Si determinino i termini gravitazionali del modello dinamico del manipolatore.

**1.4** Si supponga di utilizzare una legge di controllo a dinamica inversa per il manipolatore del presente esercizio, trascurando i termini centrifughi e di Coriolis. Si scrivano per esteso le singole equazioni scalari da cui è costituita la legge di controllo.

**Esercizio 2**

**2.1** Si scriva l'espressione di una generica traiettoria  $q(t)$  nella forma parametrica utilizzata nel procedimento di scalatura cinematica della traiettoria.

**2.2** Si determinino le espressioni delle prime derivate della funzione  $q(t)$  espresse nella forma parametrica.

**2.3** Sapendo che la forma normalizzata di una traiettoria armonica è la seguente:

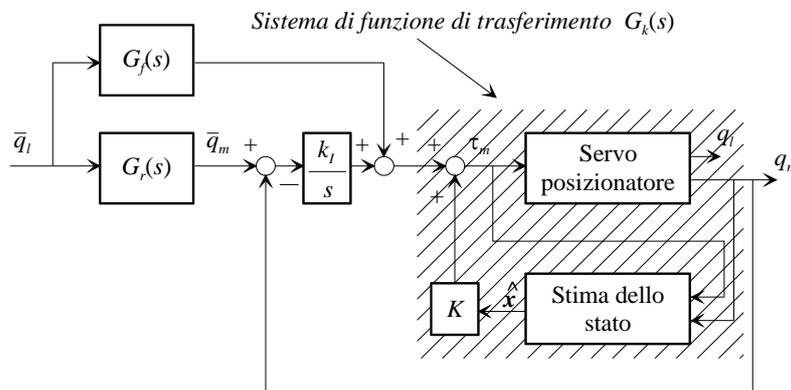
$$\sigma(\tau) = \frac{1}{2}(1 - \cos(\pi\tau))$$

si ricavano le espressioni dei valori massimi di velocità e accelerazione.

- 2.4 Si consideri una traiettoria armonica che porti  $q(t)$  dal valore iniziale  $q_i=0$  al valore finale  $q_f=4$ , con velocità iniziale e finale nulle. Assumendo come valori massimi di velocità ed accelerazione rispettivamente  $\dot{q}_{\max} = 30$ ,  $\ddot{q}_{\max} = 50$ , si determini il tempo minimo di posizionamento.

**Esercizio 3**

Si consideri lo schema di controllo del moto nello spazio di stato rappresentato dal diagramma in figura:



- 3.1 Dette  $(A, b, c)$  le matrici di una rappresentazione di stato del sistema sotto controllo (di ingresso  $\tau_m$  e uscita  $q_m$ ) si determinino le espressioni delle matrici del sistema “allargato”, i cui autovalori sono assegnati per mezzo della matrice  $K$  e del guadagno  $k_I$ . Quanti autovalori vanno assegnati in questa fase?

**3.2** Si scrivano le equazioni del ricostruttore dello stato del sistema, specificando di quale matrice occorre assegnare gli autovalori per il progetto del ricostruttore stesso. Quanti autovalori vanno assegnati in questa fase?

**3.3** Si ricavi l'espressione della funzione di trasferimento  $G_k(s)$  riportata in figura, specificando l'ordine del polinomio a denominatore.

**3.4** Si supponga di adottare per le funzioni di trasferimento  $G_r(s)$  e  $G_f(s)$  le espressioni:

$$\begin{cases} G_r(s) = G_{lm}(s)^{-1} F(s) \\ G_f(s) = G_k(s)^{-1} G_{lm}(s)^{-1} F(s) \end{cases}$$

Si spieghi il significato che assume in questo caso la funzione di trasferimento  $F(s)$  e si indichino alcuni criteri per il suo progetto.

#### **Esercizio 4**

- 4.1** Si spieghi che cosa si intende per vincoli naturali e vincoli artificiali nel controllo dell'interazione di un robot con l'ambiente.
- 4.2** Si consideri ora l'operazione di inserimento di un perno in un foro di una superficie rigida e priva di attrito: si schematizzi il sistema, individuando una terna di vincolo e determinando i vincoli naturali ed i vincoli artificiali.
- 4.3** Si scriva l'espressione della matrice di selezione ( $\Sigma$ ) per il problema trattato al punto precedente.
- 4.4** Si consideri una direzione su cui agisce un vincolo naturale su una componente di velocità lineare e sulla quale si vuole controllare la forza con una banda passante di 20 rad/s. Si spieghi che tipo di controllore si può utilizzare e se ne specifichi il guadagno.