

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

PRIMA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

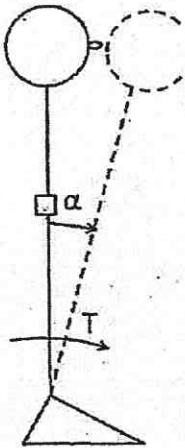
PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 12: BIOMEDICA

L'analisi del movimento umano è solitamente effettuata tramite strumenti di laboratorio quali pedane di forza e sistemi stereofotogrammetrici. Nonostante l'accuratezza e la precisione di questi strumenti l'utilizzo è limitato dal loro ingombro e costo. Per questo motivo, negli ultimi anni la ricerca relativa all'analisi del movimento ha visto fra i protagonisti i sensori indossabili, tra i quali accelerometri e giroscopi.

Si consideri un soggetto in postura eretta modellato come un pendolo che oscilla sul piano sagittale attorno all'asse di caviglia. Si vuole determinare l'angolo  $\alpha$  del pendolo inverso rispetto alla verticale, usando uno o più sensori inerziali posizionati ad altezza  $d$  rispetto all'asse di caviglia.

Parte I



- a) Si scelga il tipo di sensore/i da utilizzare e il loro orientamento. Si motivino le scelte progettuali e si scrivano le equazioni di uscita dal/i sensore/i.

Da ora in poi si suppone di aver a disposizione unicamente l'uscita di un giroscopio con asse parallelo all'asse di caviglia.

- b) Ipotizzando di avere in formata digitale l'uscita del giroscopio, utilizzare un algoritmo numerico per la stima dell'angolo  $\alpha$  note le condizioni iniziali. Si discuta della sensibilità o della robustezza dell'algoritmo proposto rispetto a offset o derive del segnale.
- c) Supponendo di avere a disposizione la tensione proporzionale alla velocità angolare lungo il piano sagittale,  $\dot{\alpha}$ , si scelga e si progetti un filtro analogico reale per ottenere in uscita una tensione proporzionale ad  $\alpha$ . Si commentino le scelte progettuali.
- d) Si determini la funzione di trasferimento  $V_{out}/V_{in}$  del filtro del punto c).
- e) Determinare i valori dei componenti del filtro del punto c) in modo da avere un guadagno statico pari a 200.
- f) Scegliere la frequenza di taglio del filtro del punto c) in modo che sia 10 volte minore rispetto al valore massimo della frequenza di oscillazione posturale (scegliere un valore ragionevole per la frequenza posturale massima).  
Nota la frequenza di taglio, dimensionare quindi la/le rimanente/i componente/i del filtro analogico utilizzato al punto c).
- g) Disegnare qualitativamente i diagrammi di Bode del filtro creato.
- h) Per l'acquisizione del segnale al punto c) si hanno a disposizione tre tipi di convertitori analogico/digitale a 8, 12 e 16 bit rispettivamente.  
Si determini, motivando la risposta, quale sia il convertitore più adatto fra quelli proposti in modo da ottenere un errore di quantizzazione minore dello 0.2% del fondoscala.

---

---

ESAME DI STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI INGEGNERE

---

---

PRIMA SESSIONE 2019 – SEZIONE A

SETTORE INDUSTRIALE

PROVA PRATICA DI PROGETTAZIONE

TEMA N. 12: BIOMEDICA

---

**Parte 2**

- i) Si scriva l'equazione di equilibrio dinamico del pendolo inverso (il momento  $T$  indicato in figura è il momento di caviglia).
- j) Ricavare la funzione di trasferimento che lega  $T$  ad  $\alpha$  con ipotesi di piccoli angoli.  
Si discuta della stabilità di questo sistema.
- k) Utilizzando l'informazione dell'angolo  $\alpha$ , descrivere il funzionamento di un ipotetico sistema di biofeedback per la stabilizzazione posturale in soggetti con deficit dei sistemi sensoriali preposti al controllo dell'equilibrio. Si supponga che il soggetto confronti il segnale di biofeedback con un segnale di riferimento e controlli il momento di caviglia con un controllore di tipo proporzionale e derivativo.
- l) Disegnare lo schema a blocchi del sistema scelto al punto precedente, considerando anche il controllore proporzionale e derivativo. Si discuta degli effetti che ha il biofeedback sulla stabilità del sistema.