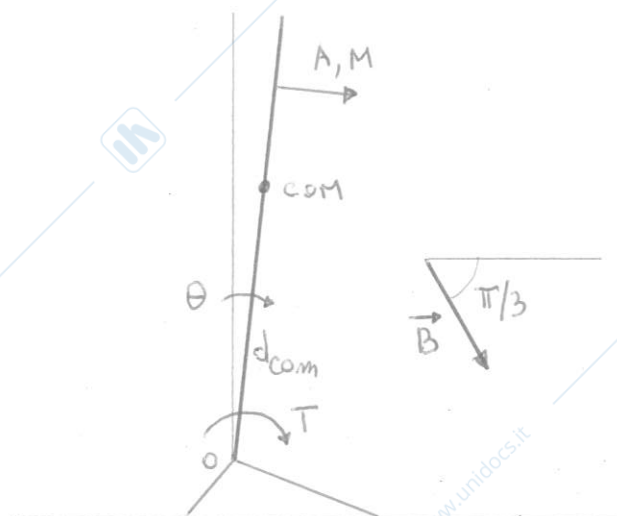


## Bioingegneria della Riabilitazione LM

Prova scritta 13 giugno 2016



Si vuole valutare l'azione dell'audio-biofeedback nel processo di stabilizzazione posturale. Un soggetto, modellato con un pendolo inverso nel piano sagittale, è sotto il controllo della sola afferenza uditiva. In corrispondenza ad L5, a distanza  $h = 1.2$  m dall'asse di caviglia, è applicata una IMU costituita da un accelerometro A e da un magnetometro M con assi di misura ortogonali al pendolo e diretti anteriormente. Il campo magnetico terrestre locale,  $\mathbf{B}$ , giace sul piano sagittale ed è diretto anteriormente e verso il basso formando un angolo di 60 gradi con l'orizzontale. Il suo modulo vale  $47 \mu\text{Tesla}$ .

- 1) Ricavate l'equazione che descrive la dinamica del pendolo inverso assumendo  $m = 75$  kg,  $J_{com} = 15$  kgm<sup>2</sup> e  $d_{com} = 1$  m (6 punti).
- 2) Stimate l'angolo  $\theta$ , nell'ipotesi di piccoli angoli, a partire dalle uscite di A [m/s<sup>2</sup>] e di M [tesla] utilizzando il filtro di Kalman (9 punti).
- 3) La variazione di frequenza,  $\delta f = k\theta$ ,  $k > 0$ , viene percepita dal SNC del soggetto con un ritardo  $\tau = 0.05$  s. L'errore rispetto ad un set-point nullo è elaborato da un controllore proporzionale-derivativo, di guadagni  $K_p = 1.5$  Nm/Hz e  $K_d = 0.1$  Nms/Hz, la cui uscita è il momento flessorio alla caviglia  $T$ . Rappresentate lo schema a blocchi del sistema a retroazione e indicate le funzioni di trasferimento dopo aver linearizzato nell'intorno di  $\theta = 0$  (6 punti).
- 4) Dopo aver approssimato il ritardo puro con una funzione di trasferimento ad un solo zero, determinate il range di valori di  $k$  [Hz/rad] compatibile con la stabilità asintotica del sistema (6 punti).
- 5) L'oscillazione posturale è prodotta iniettando una perturbazione sinusoidale  $\delta T$  di ampiezza 10 Nm e frequenza 0.5 Hz sul momento flessorio alla caviglia. Calcolate l'escursione angolare a regime quando  $k$  assume il suo valore minimo e massimo (6 punti).