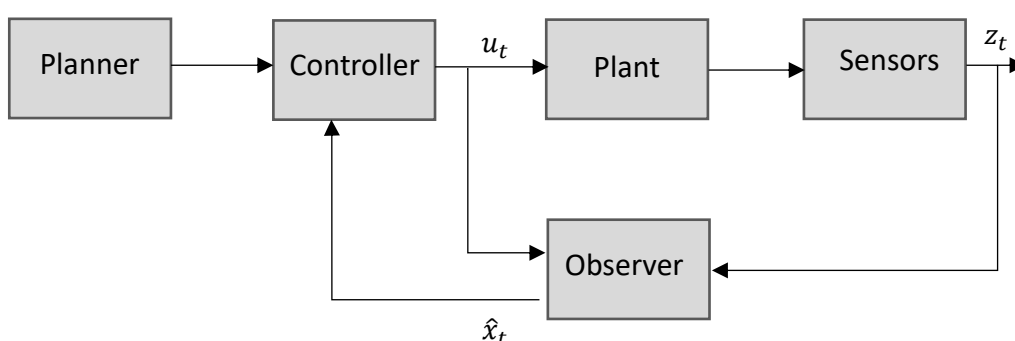


Risultati Sperimentali

Nei capitoli precedenti abbiamo descritto in maniera esaustiva tutti gli elementi caratterizzanti l'anello



di controllo sopra riportato. In questa sezione presentiamo i risultati degli esperimenti svolti in ambiente simulativo. Inizieremo dapprima riportando i risultati ottenuti per applicazione delle azioni di controllo discusse nei Capitoli 2 , 3 , ipotizzando in prima battuta di avere una completa conoscenza ad ogni istante di tempo dello stato del sistema.

Successivamente , si presenteranno i risultati ottenuti con l'applicazione delle tecniche di stima presentate nel Capitolo 4. In particolare , simuleremo sia applicazioni outdoor , in cui la stima dello stato è supportata da sistemi di localizzazione GNSS (Global Navigation Satellite Systems) , nonché applicativi in ambito indoor , in cui la stima ricorsiva della configurazione del robot è supportata dall'impiego di Beacons.

Quindi di fatto nel proseguo ipotizzeremo che il nostro robot sia dotato di moduli di ricezione appositi per gli scenari sopra descritti.

Tutti i risultati qui riportati sono stati ottenuti con l'ausilio del software Matlab.

Simulazioni Controllo Gain Scheduling

In questa prima fase di simulazione , andremo ad analizzare i risultati ottenuti dall'applicazione del controllore presentato nel Capitolo 3 , il controllo a guadagno schedulato. In particolare , come già ribadito in precedenza si assume in questa prima fase che la configurazione del robot

$$q(t) = [x(t); y(t); \theta(t)]^T$$

sia nota ad ogni istante di tempo; di fatto , in prima battuta trascuriamo la presenza dello stimatore dello stato del nostro differential drive.

Si ricordi come l'obiettivo di tale controllore è quello di eliminare le limitazioni imposte dal controllore sul linearizzato (Capitolo 2) , e cioè non richiedere la costanza del vettore delle velocità

$$[v_d(t); \omega_d(t)]^T$$

Iniziamo la nostra discussione , graficando in primis l'andamento del percorso desiderato nel piano cartesiano , per il nostro differential drive

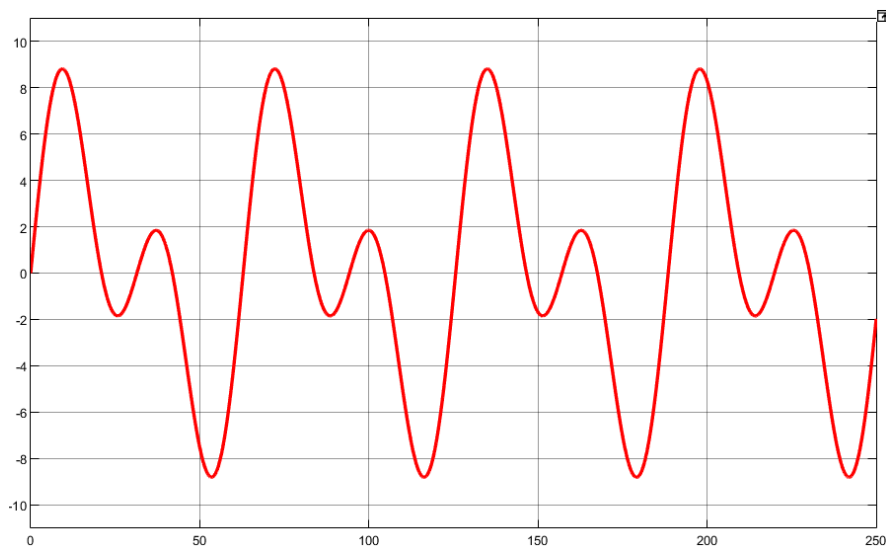


Figura 5.1 Riferimento nel piano.

Volendo essere più espliciti , la parametrizzazione del precedente cammino desiderato è data da

$$\begin{aligned} x_d(t) &= t; \\ y_d(t) &= 5 \sin(0.1 t) + 5 \sin(0.2 t); \end{aligned}$$

Si ricordi che il percorso deve essere ammissibile per il nostro differential drive , alla traiettoria cartesiana desiderata $(x_d(t), y_d(t))$, corrisponde di fatto la seguente traiettoria di stato

$$q_d(t) = [x_d(t); y_d(t); \theta_d(t)]^T$$

con

$$\theta_d(t) = \tan^{-1} \left(\frac{\dot{y}_d(t)}{\dot{x}_d(t)} \right)$$

Sfruttando la piattezza differenziale come ribadito nel Capitolo 2 , è immediato determinare i riferimenti di velocità per il percorso desiderato , infatti

$$v_d(t) = \pm \sqrt{\dot{x}_d(t)^2 + \dot{y}_d(t)^2}$$

$$\omega_d(t) = \frac{\ddot{y}_d(t)\dot{x}_d(t) - \ddot{x}_d(t)\dot{y}_d(t)}{\dot{x}_d(t)^2 + \dot{y}_d(t)^2}$$

Si riportano di seguito gli andamenti dei riferimenti di velocità con lo scopo di individuare limiti superiori e inferiori per la definizione dell'azione di controllo

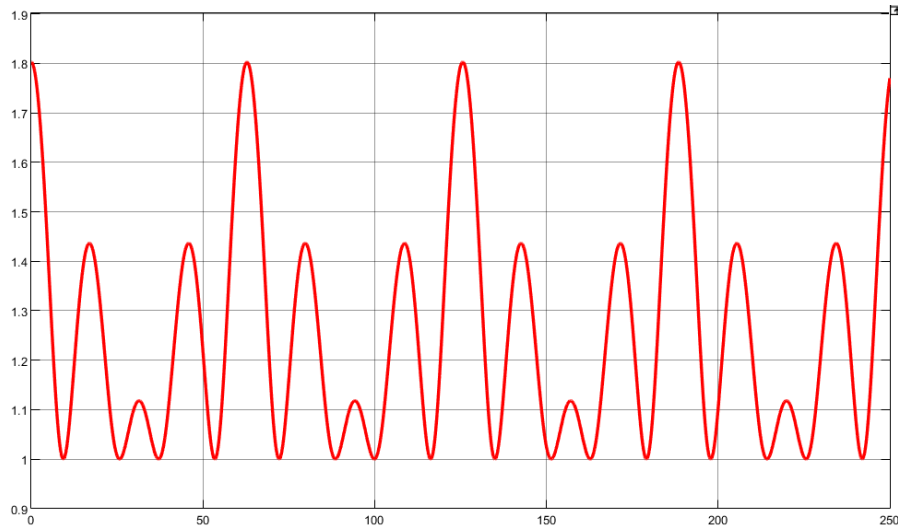


Figura 5.2 Andamento nel tempo velocità di trazione $v_d(t)$

Di seguito invece l'andamento nel tempo per quanto riguarda la velocità di sterzo $\omega_d(t)$.

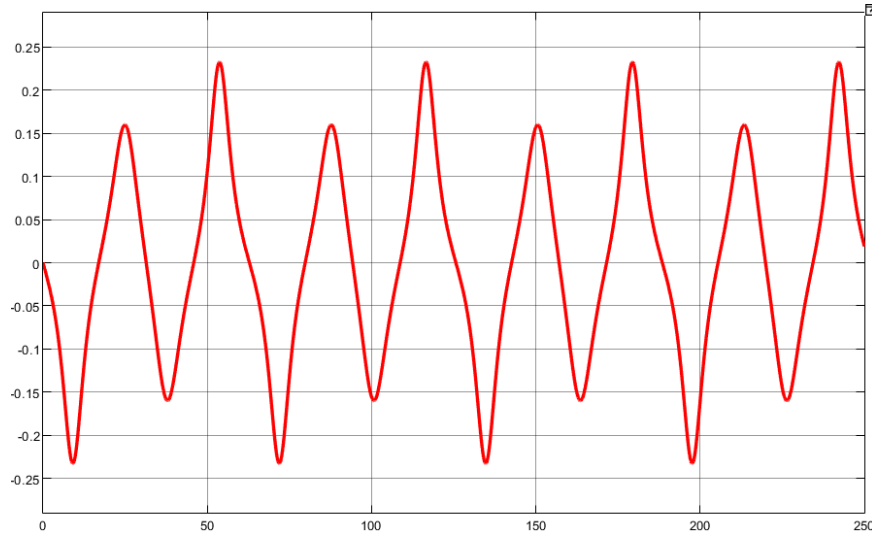


Figura 5.3 Andamento nel tempo velocità di sterzo $\omega_d(t)$.

Si ricordi come la definizione dell'azione di controllo a guadagno schedulato , si fonda su una caratterizzazione dei limiti inferiori e superiori dei parametri incerti. In particolare , come ribadito nel Capitolo 3 , come parametri incerti consideriamo le due velocità , ed in particolare scegliamo i seguenti valori per i limiti

$$\bar{v}_d(t) = 5;$$

$$\underline{v}_d(t) = 1;$$

$$\bar{\omega}_d(t) = 5;$$

$$\underline{\omega}_d(t) = -5;$$

Definiti i vertici del politopo , il passo successivo è la risoluzione delle LMIs per l'individuazione dei 4 guadagni che caratterizzano l'azione di controllo a guadagno schedulato

$$K(p(t)) = \sum p_i(t)K_i$$

con

$$p_1(t) = \left(\frac{v_d(t) - \underline{v}_d}{\bar{v}_d - \underline{v}_d} \right) \left(\frac{\omega_d(t) - \underline{\omega}_d}{\bar{\omega}_d - \underline{\omega}_d} \right) , \quad p_2(t) = \left(\frac{\bar{v}_d - v_d(t)}{\bar{v}_d - \underline{v}_d} \right) \left(\frac{\omega_d(t) - \underline{\omega}_d}{\bar{\omega}_d - \underline{\omega}_d} \right)$$

$$p_3(t) = \left(\frac{\bar{v}_d - v_d(t)}{\bar{v}_d - \underline{v}_d} \right) \left(\frac{\bar{\omega}_d - \omega_d(t)}{\bar{\omega}_d - \underline{\omega}_d} \right) , \quad p_4(t) = \left(\frac{v_d(t) - \underline{v}_d}{\bar{v}_d - \underline{v}_d} \right) \left(\frac{\bar{\omega}_d - \omega_d(t)}{\bar{\omega}_d - \underline{\omega}_d} \right)$$

come notiamo tali che

$$p_i(t) \geq 0, i = 1,2,3,4 \quad \sum p_i(t) = 1$$

e cioè interno allo unitary simplex $\forall t \geq 0$.

Si mostrano di seguito i risultati ottenuti con l'applicazione di tale azione di controllo , in particolare iniziamo con il sovrapporre all'andamento desiderato la traiettoria percorsa dall'uniciclo controllato.

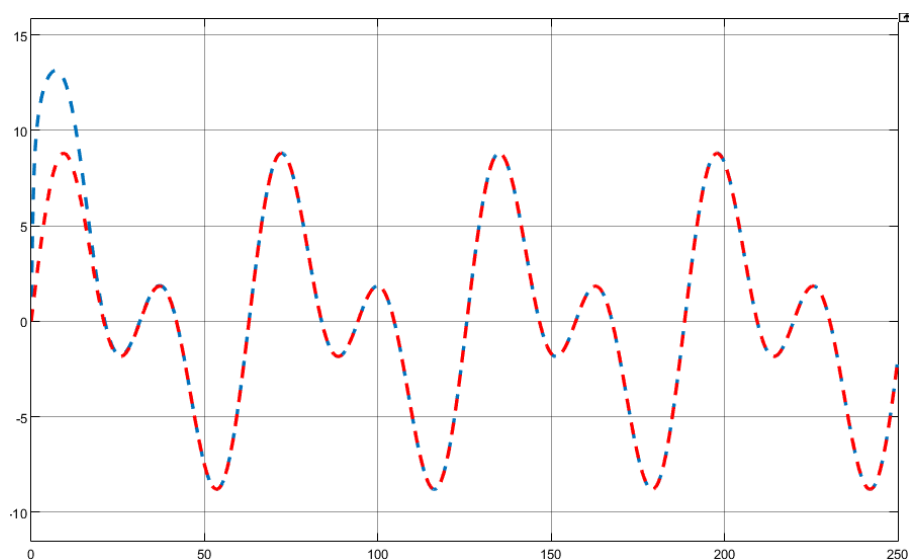


Figura 5.4 Controllo Gain Scheduling

In particolare la Figura 5.4 evidenzia in rosso il riferimento , ed in blue riporta l'andamento della traiettoria seguita dal robot. Si noti come dopo un leggero transitorio , l'errore a regime è nullo.

Si riporta di seguito l'andamento degli errori , definiti ricordiamolo come

$$e_x(t) = x(t) - x_d(t)$$

$$e_y(t) = y(t) - y_d(t)$$

$$e_\theta(t) = \theta(t) - \theta_d(t)$$

Di seguito l'andamento dei tre errori nel tempo.

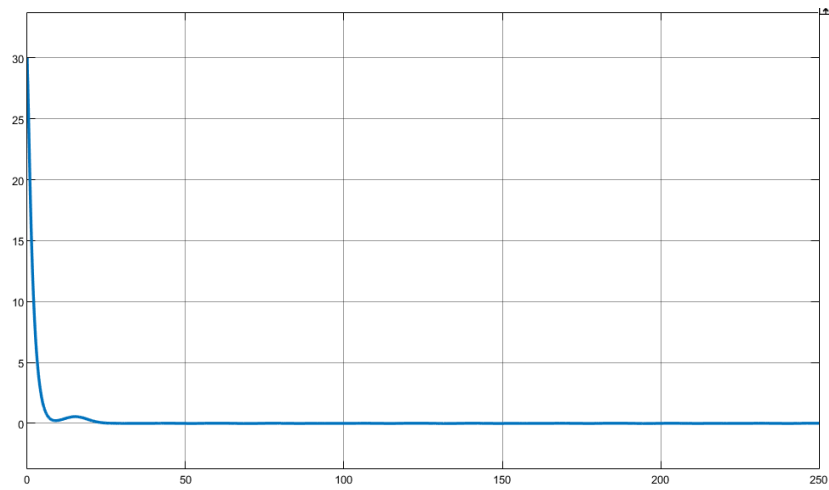


Figura 5.5 Andamento nel tempo di $e_x(t)$.

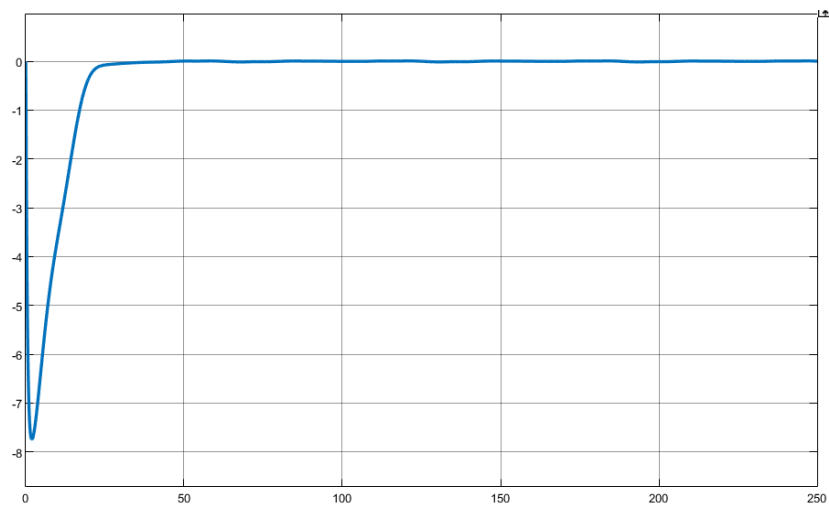


Figura 5.6 Andamento nel tempo di $e_y(t)$

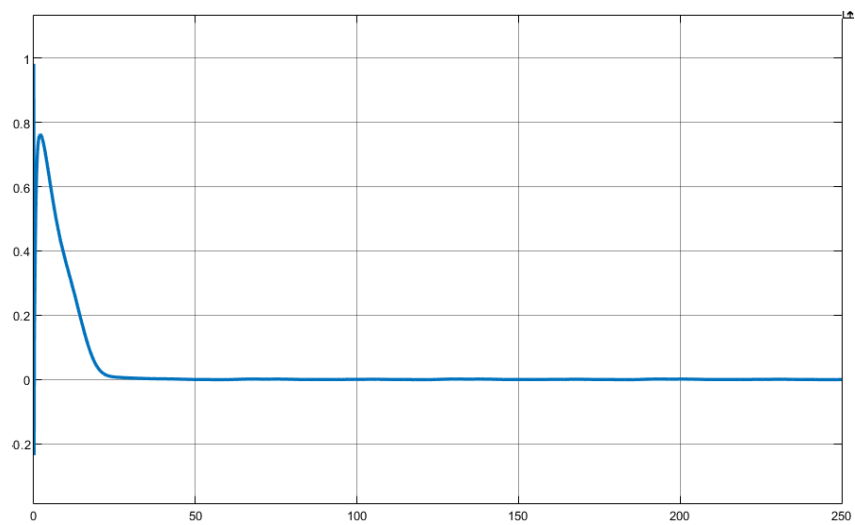


Figura 5.7 Andamento nel tempo di $e_\theta(t)$.

Conclusa questa prima fase di simulazione , si passa ora ad analizzare i risultati in simulazione, sfruttando le tecniche di localizzazione discusse nel Capitolo 4. Cioè da ora in poi consideriamo la presenza all'interno dell'anello di controllo di uno stimatore dello stato a partire da misurazioni ingresso uscita.