



Progetto Robotica

Risafi Natale Francesco Pio

Matricola 223491

| Robotica |

A.A. 2022/2023

Introduzione alla robotica

Per robot si intende un sistema in retroazione, la cui dinamica si riferisce allo studio del movimento e del comportamento del robot nel suo ambiente. Dunque, uno degli aspetti più importanti di un robot è la *precisione*, che ricopre un ruolo fondamentale anche ai fini della simulazione del manipolatore stesso. La simulazione di un manipolatore permette di testare strategie di controllo e tecniche di pianificazione del moto senza aver bisogno di utilizzare un robot reale. L'analisi del modello dinamico e il calcolo delle forze/coppie necessarie per l'esecuzione di un movimento, forniscono invece informazioni utili per il progetto meccanico dei giunti.

Generatori di riferimento e Controllori

All'interno del progetto viene richiesto in particolare di sviluppare generatori di riferimento e controllori.

I **generatori di riferimento** nei robot sono sistemi o algoritmi utilizzati per generare punti di riferimento o coordinate che consentono ai robot di localizzarsi e navigare all'interno di un ambiente. Fondamentali per consentire ai robot di muoversi in modo autonomo ed evitare gli ostacoli.

Tra le diverse tecnologie usate per implementare questi generatori di riferimento si ha l'uso dei **sensori**; i dati di questi ultimi vengono elaborati per identificare caratteristiche distintive o punti di riferimento nell'ambiente, come oggetti, pareti, ecc. Questi punti di riferimento vengono quindi utilizzati per creare una mappa dell'ambiente o per calcolare le coordinate relative del robot.

I **controllori** sono invece dispositivi o algoritmi che gestiscono il comportamento o l'azione di un sistema al fine di raggiungere un determinato obiettivo. L'obiettivo del controllo è quello di regolare le variabili di un sistema in modo da mantenere le prestazioni desiderate. Esistono diversi tipi di controllori:

- Controllori Proporzionali (P): questi generano un segnale di controllo proporzionale all'errore tra il valore attuale del sistema e il valore di riferimento desiderato. Fornisce una risposta rapida, in proporzione all'errore generato, ma se persiste può portare ad un errore di regime;
- Controllori Proporzionali-Integrativi (PI): aggiungono un termine integrativo al controllore proporzionale, accumula l'errore nel tempo e diminuisce l'errore di regime, portando il sistema nella posizione desiderata in modo preciso;
- Controllori Proporzionali-Derivativi (PD): aggiungono un termine derivativo al controllore proporzionale. Misura la velocità di variazione dell'errore nel tempo e aiuta a ridurre le oscillazioni nella risposta del sistema e le sovraelongazioni;
- Controllori Proporzionali-Integrativi-Derivativi (PID): combinano i 3 controllori sopra elencati, sono ampiamente utilizzati per la loro capacità di fornire una rapida risposta, in modo preciso, riducendo l'errore di regime, e riducendone le oscillazioni.

Primo quesito (Sviluppo generatore di riferimento)

Bisogna dunque simulare un robot planare, con un braccio (braccio 1) che misura 1 m e l'altro (braccio 2) che misura 0.8 m.

Inoltre, devono essere rispettate 2 traiettorie, una traiettoria rettilinea che va dal punto $P1 = [0.5, 0.3]^T$ ad un punto $P2 = [1.5, 0.3]^T$ in un tempo di 10s e l'altra una traiettoria curvilinea (semicirconferenza) che va dal punto P2 al punto P1, da percorrere in 20s.

Per poter costruire un generatore di riferimento bisogna prima determinare l'**orientamento** del robot e dunque gli angoli dei giunti rotoidali. Dati posizione e lunghezza dei bracci dobbiamo ricavare le variabili di giunto e questo è possibile tramite l'uso della cinematica inversa.

Per definire la traiettoria punto-punto utilizzo un approccio di tipo polinomiale, definendo un grado alto per il polinomio (ad esempio di 7° grado) in maniera tale da avere una soluzione più precisa e un movimento più docile.

Inoltre, dovrò determinare σ e λ , oltre alle leggi orarie della retta e della semicirconferenza, prima di passare alla cinematica inversa e ricavare le variabili di giunto.

Questi due parametri σ e λ sono fondamentali per il calcolo della traiettoria, in quanto λ rappresenta la velocità di spostamento del giunto che si muove da P1 a P2, e così via, mentre σ serve a normalizzare il tempo di percorrenza.

Ovviamente parlando di polinomio di settimo grado avremo bisogno di inserire **otto vincoli**:

$$\begin{aligned}\lambda(0) &= 0; \lambda(1) = 1 \\ \lambda'(0) &= 0; \lambda'(1) = 0 \\ \lambda''(0) &= 0; \lambda''(1) = 0 \\ \lambda'''(0) &= 0; \lambda'''(1) = 0\end{aligned}$$

Una volta scritti questi vincoli e mettendoli sottoforma di sistema in relazione all'equazione:

$$\lambda(\sigma) = a\sigma^7 + b\sigma^6 + c\sigma^5 + d\sigma^4 + e\sigma^3 + f\sigma^2 + g\sigma + h$$

Attraverso varie manipolazioni matematiche otterremo un sistema di 4 equazioni lineari in 4 incognite che saranno (a,b,c,d) mentre le restanti 4 incognite (e,f,g,h) saranno azzerate, vista la presenza dei vincoli sopra imposti.

Otterremo un'equazione del tipo:

$$\lambda(\sigma) = -20\sigma^7 + 70\sigma^6 - 84\sigma^5 + 35\sigma^4$$

Mentre σ verrà calcolata volta per volta tramite:

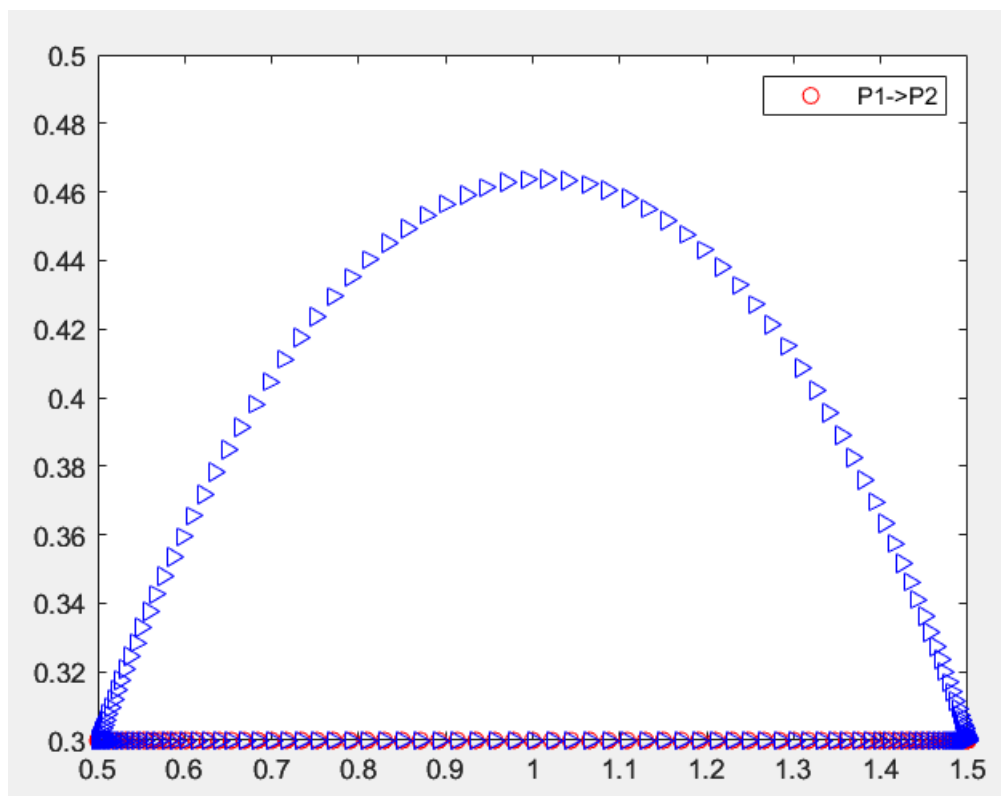
$$\sigma(t) = \frac{t(i) - t_1}{t_2 - t_1}$$

Come si può notare il valore di lambda dipende dal grado del polinomio scelto.

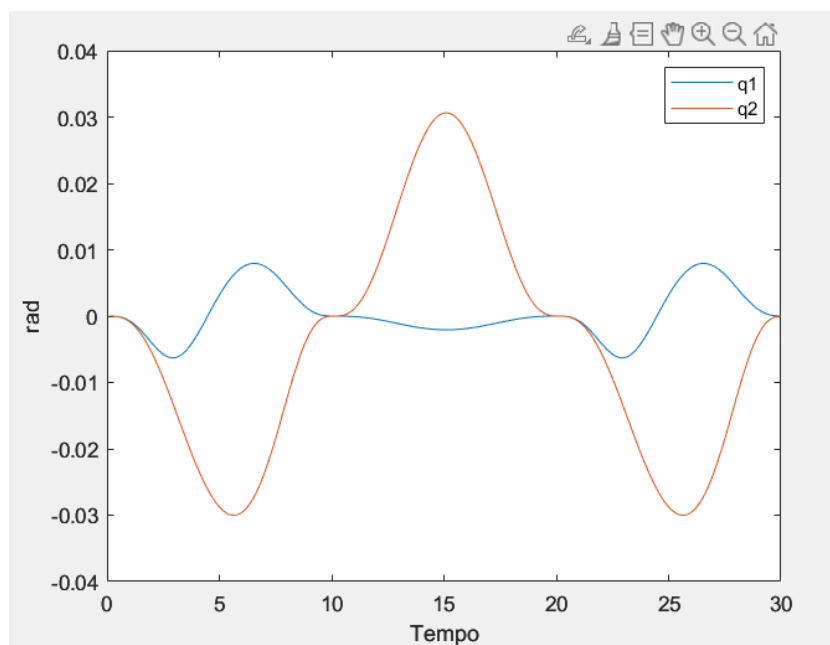
Una volta specificate σ e λ , possiamo scrivere le due leggi orarie:

- $P(t) = P1 + \lambda(t) (P2 - P1)$ se il tratto è rettilineo
- $Q(t) = Q1 + \lambda(t) (Q2 - Q1)$ se il tratto è una semicirconferenza

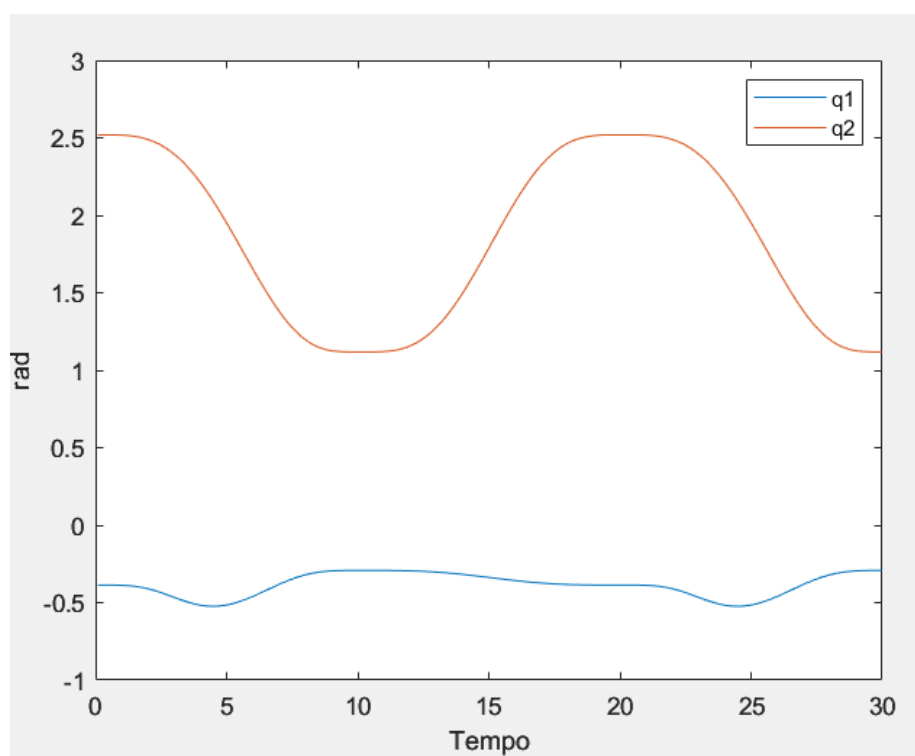
Potremo dunque sviluppare un generatore di riferimento, che verrà usato dai controllori sviluppati nei prossimi quesiti.



Rappresentazione del percorso dal punto P1 al punto P2



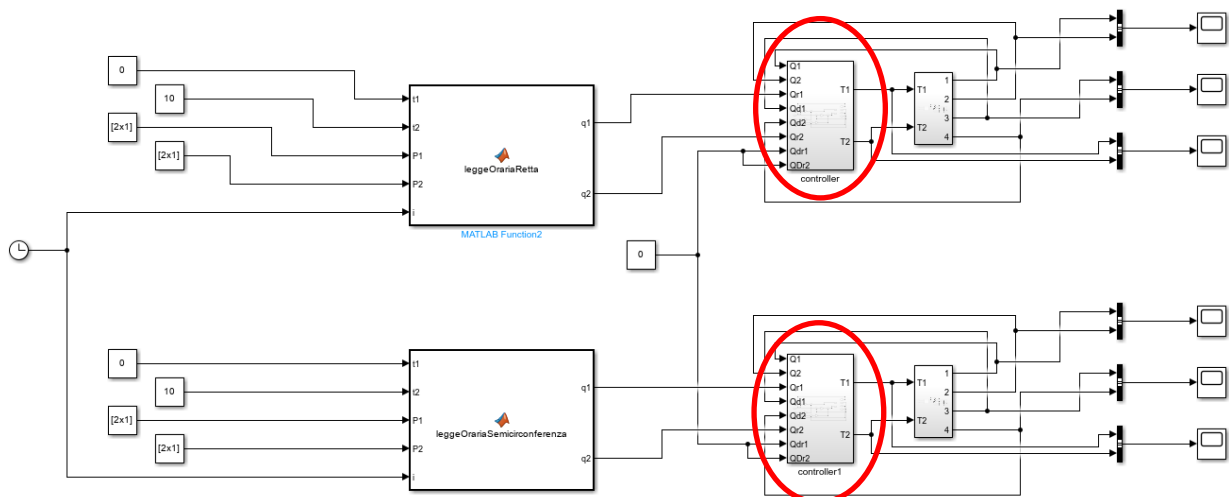
Questo grafico rappresenta invece l'andamento della velocità dei giunti nello spazio di riferimento



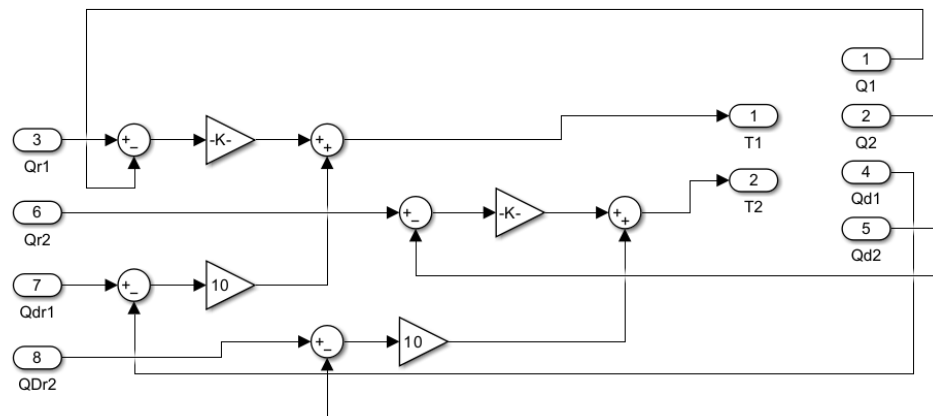
Andamento variabili di giunto nello spazio di riferimento

Secondo quesito (Sviluppo controllore PD senza gravità)

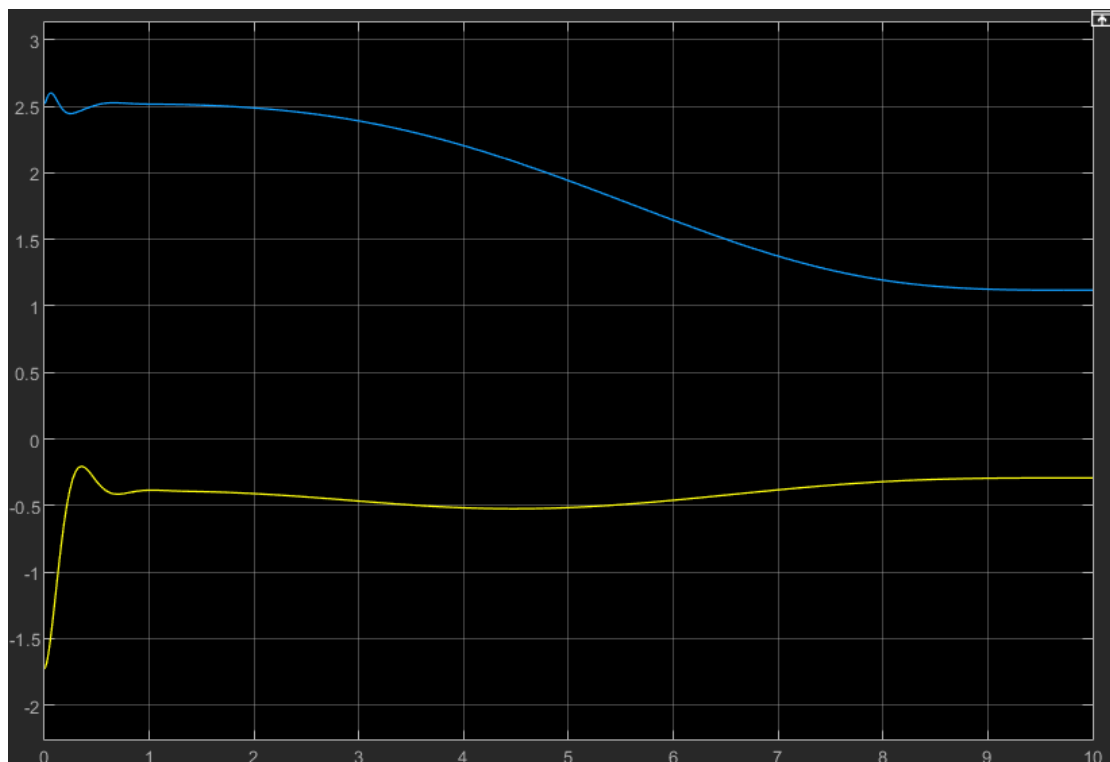
In MatLab per rappresentare al meglio questi controllori vado a collegarli con i diversi generatori di segnali, che rappresentano le due traiettorie sopra citate:



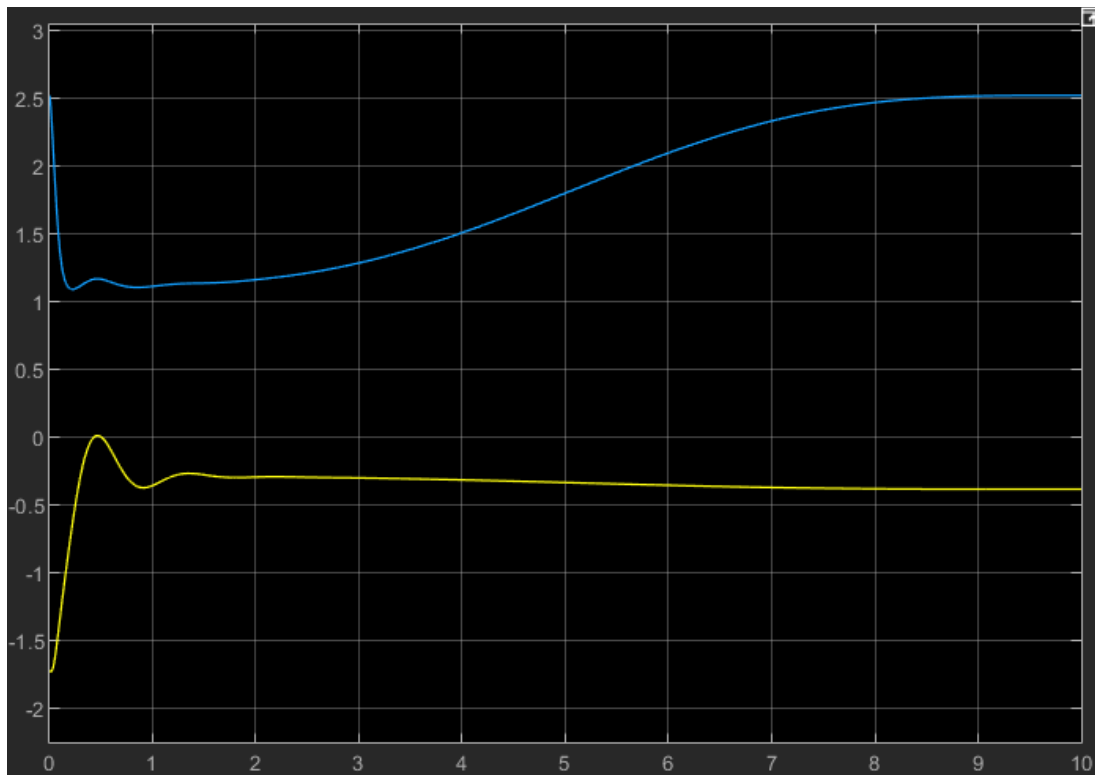
In rosso ho evidenziato i due controllori, i quali saranno entrambi senza un coefficiente di gravità, $g = 0$.



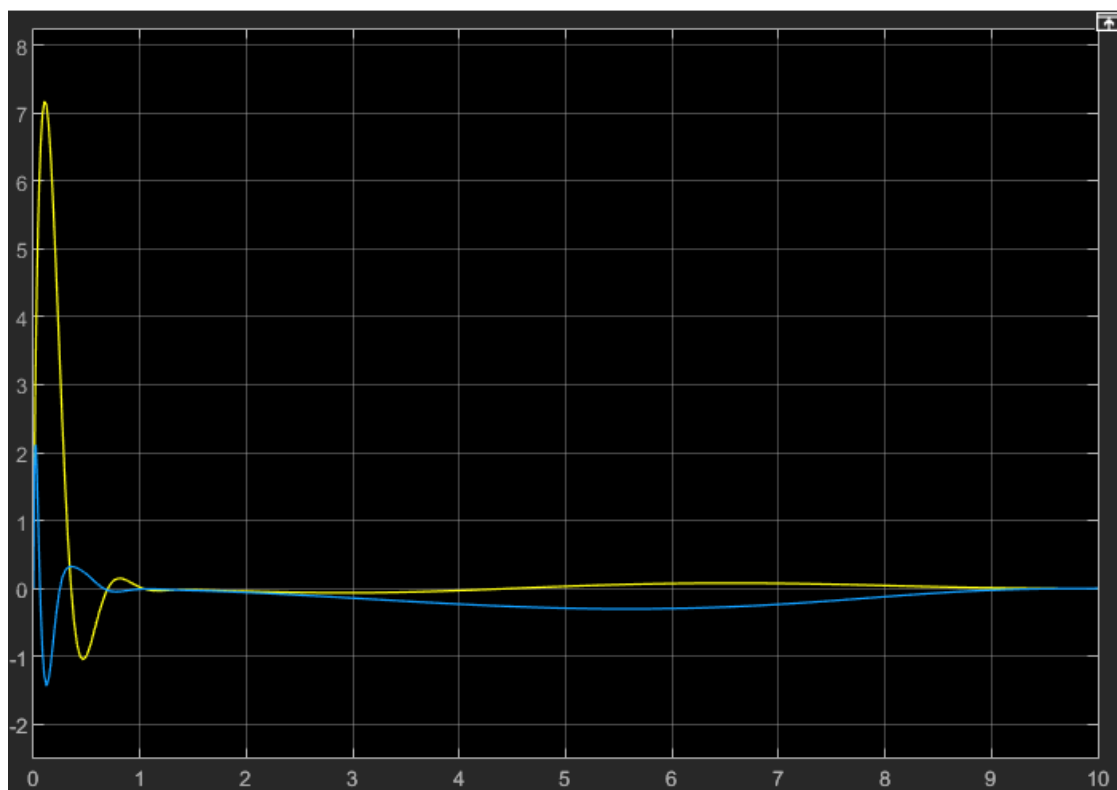
Tramite questi controllori possiamo dunque gestire il comportamento del sistema:



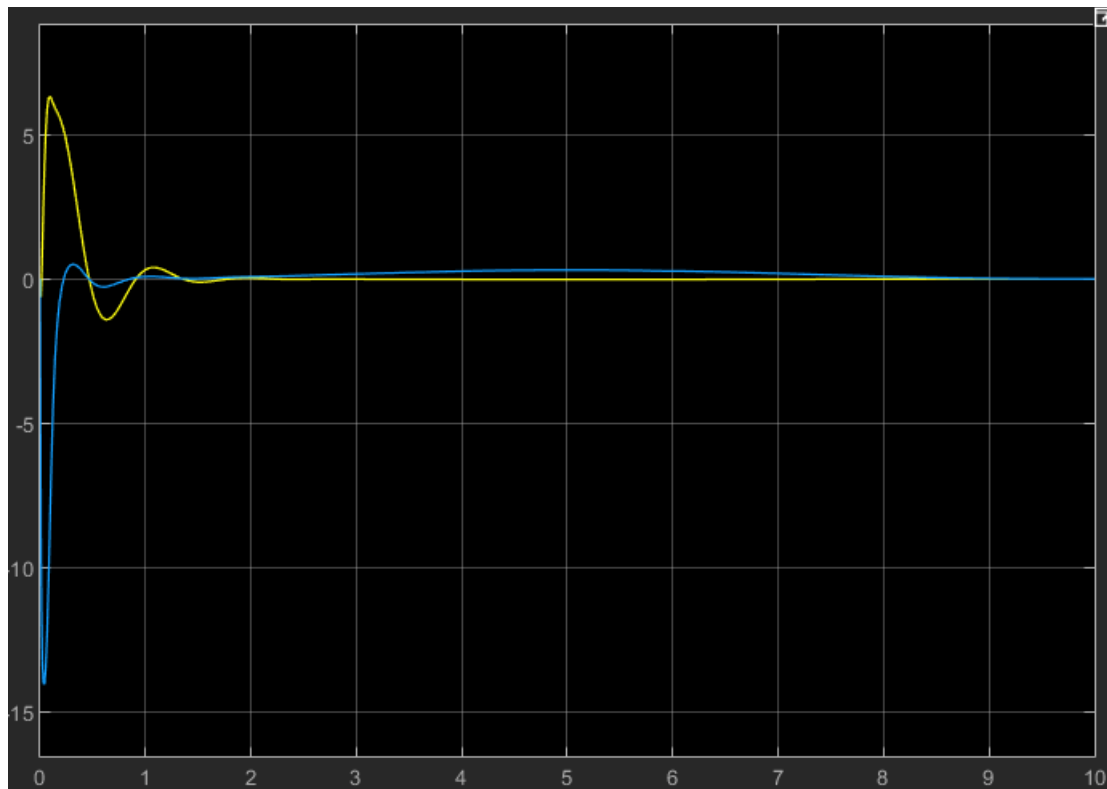
Andamento dei giunti nel primo tratto rettilineo che va da P1 a P2



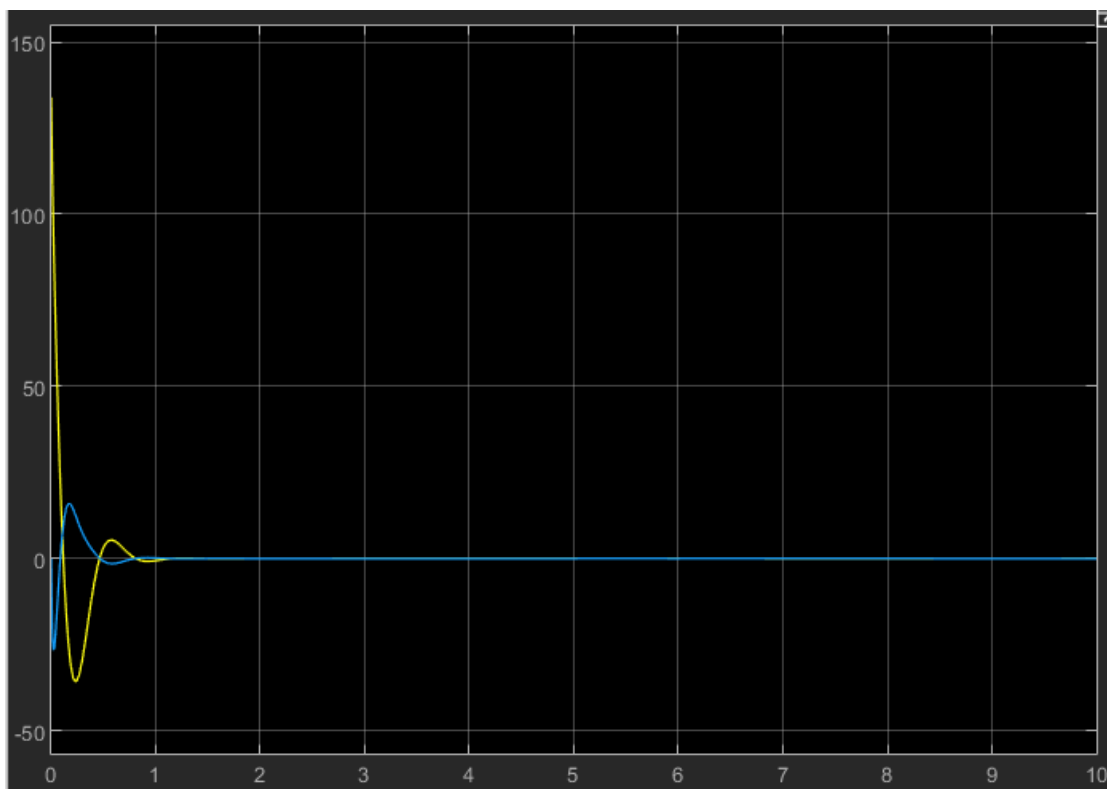
Andamento nei giunti nel secondo tratto (semicirconferenza) che va da P2 fino a P1



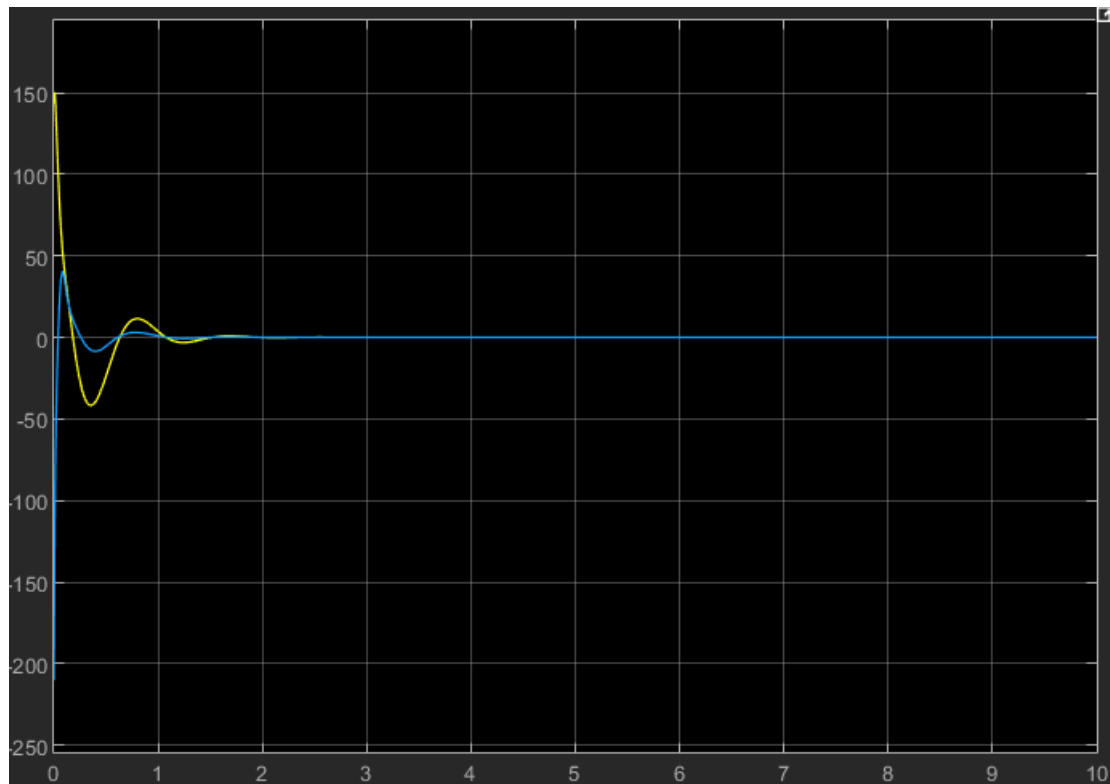
Andamento della velocità nel primo tratto



Andamento della velocità nel secondo tratto



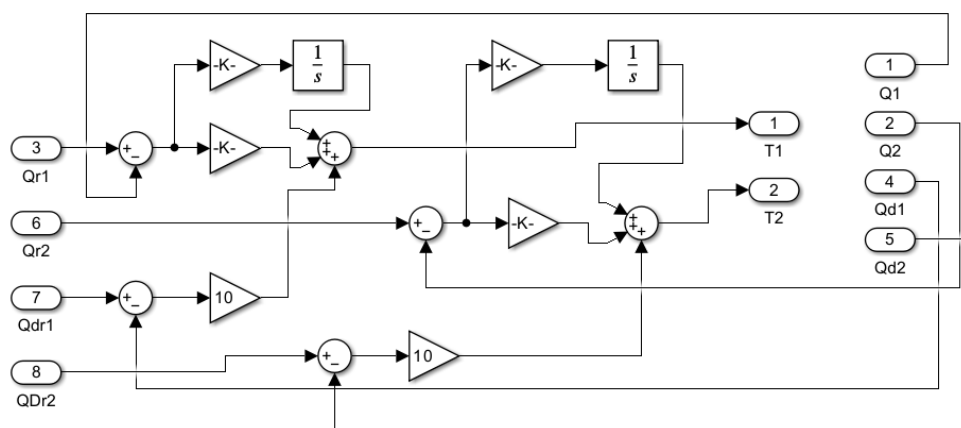
Forze applicate ai giunti nel primo tratto

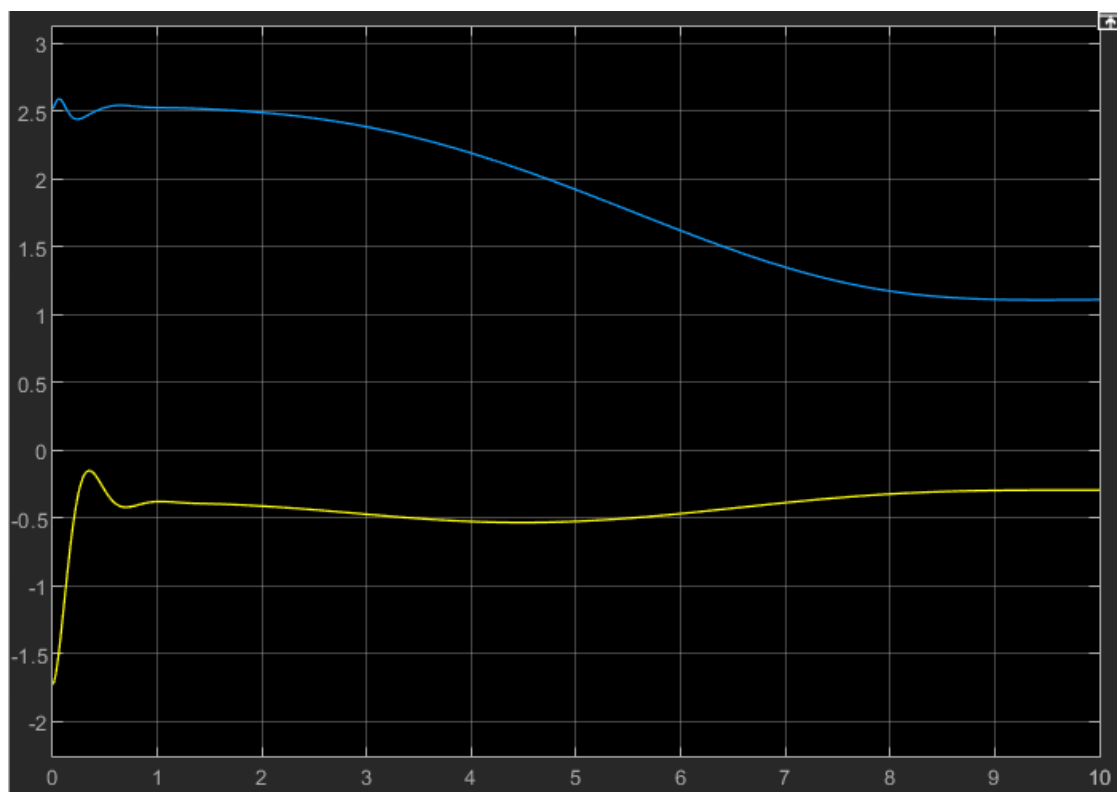


Forze applicate ai giunti nel secondo tratto

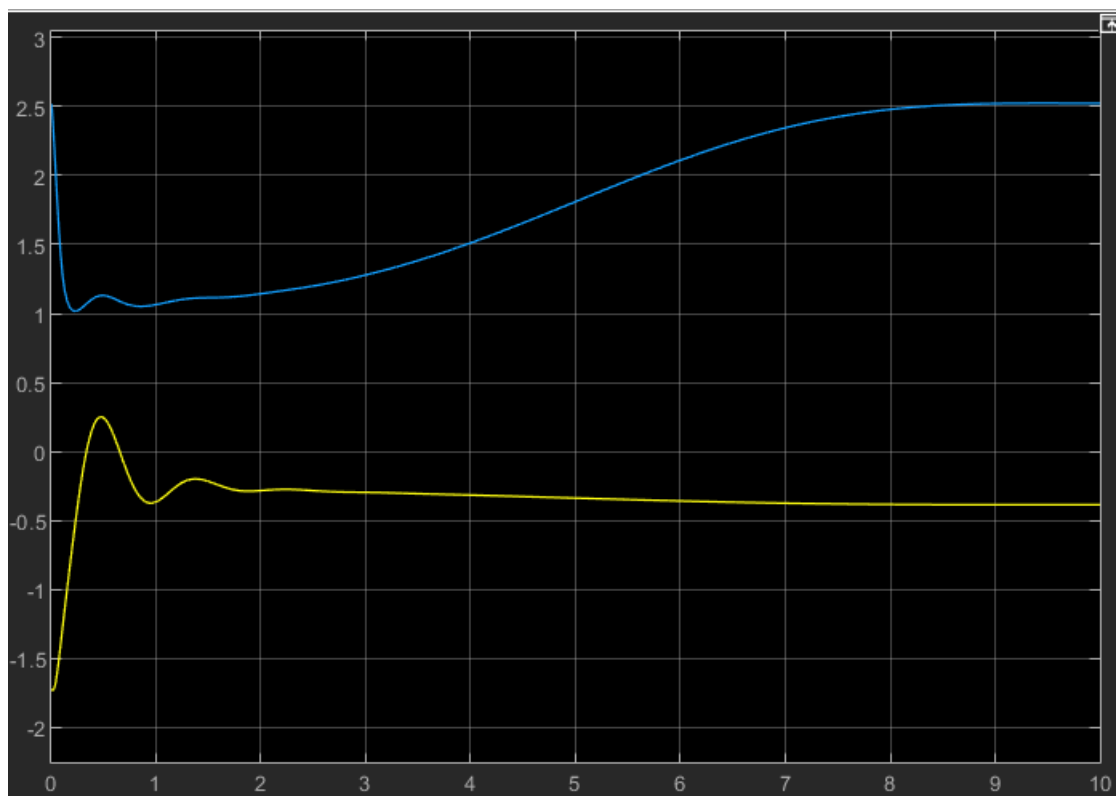
Terzo quesito (sviluppo controllore PID con gravità)

Come terzo quesito è richiesto lo sviluppo di un controllore PID con il fattore aggiuntivo della **gravità**:

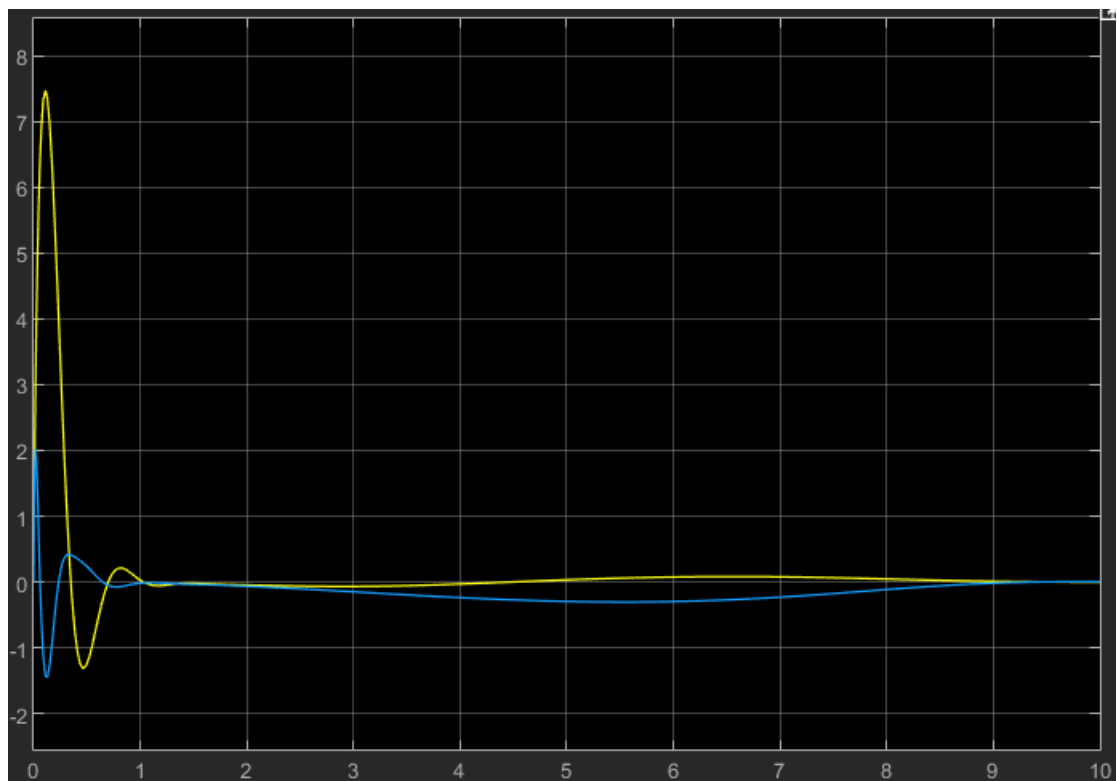




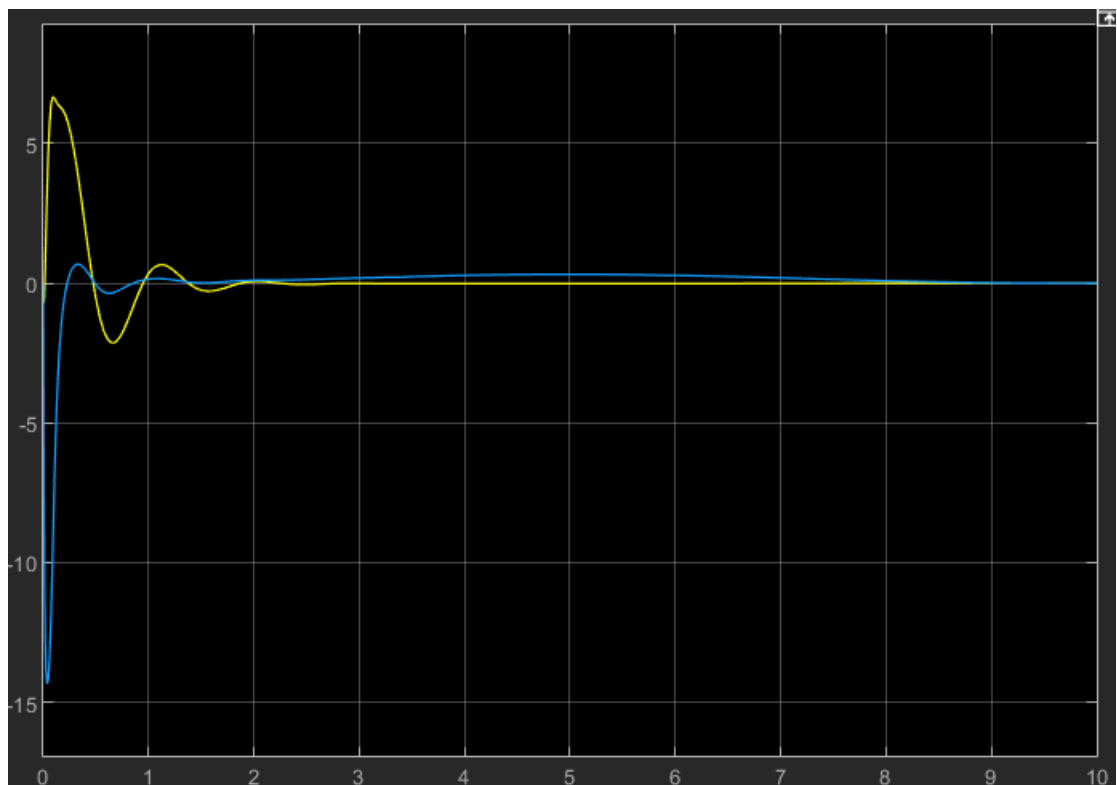
Andamento dei giunti nel primo tratto rettilineo che va da P1 a P2



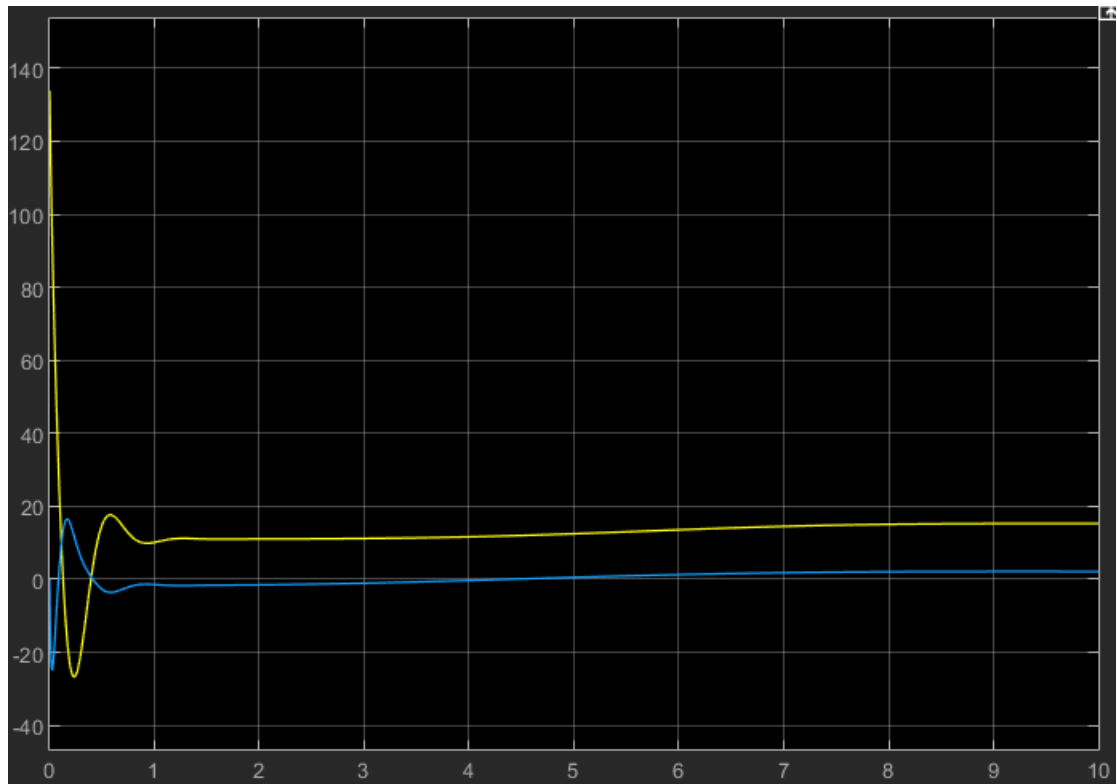
Andamento dei giunti nel secondo tratto (semicirconferenza) che va dal punto P2 al punto P1



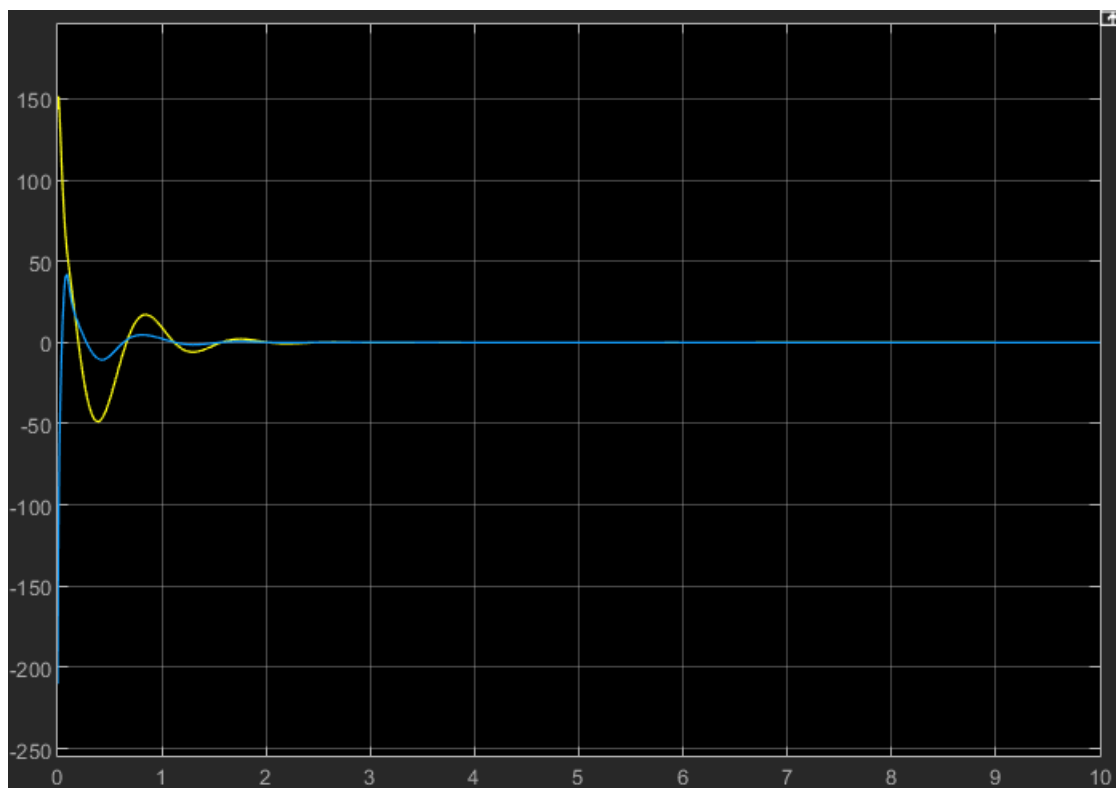
Andamento della velocità dei giunti nel primo tratto



Andamento della velocità dei giunti nel secondo tratto



Forze applicate ai giunti nel primo tratto



Forze applicate ai giunti nel secondo tratto

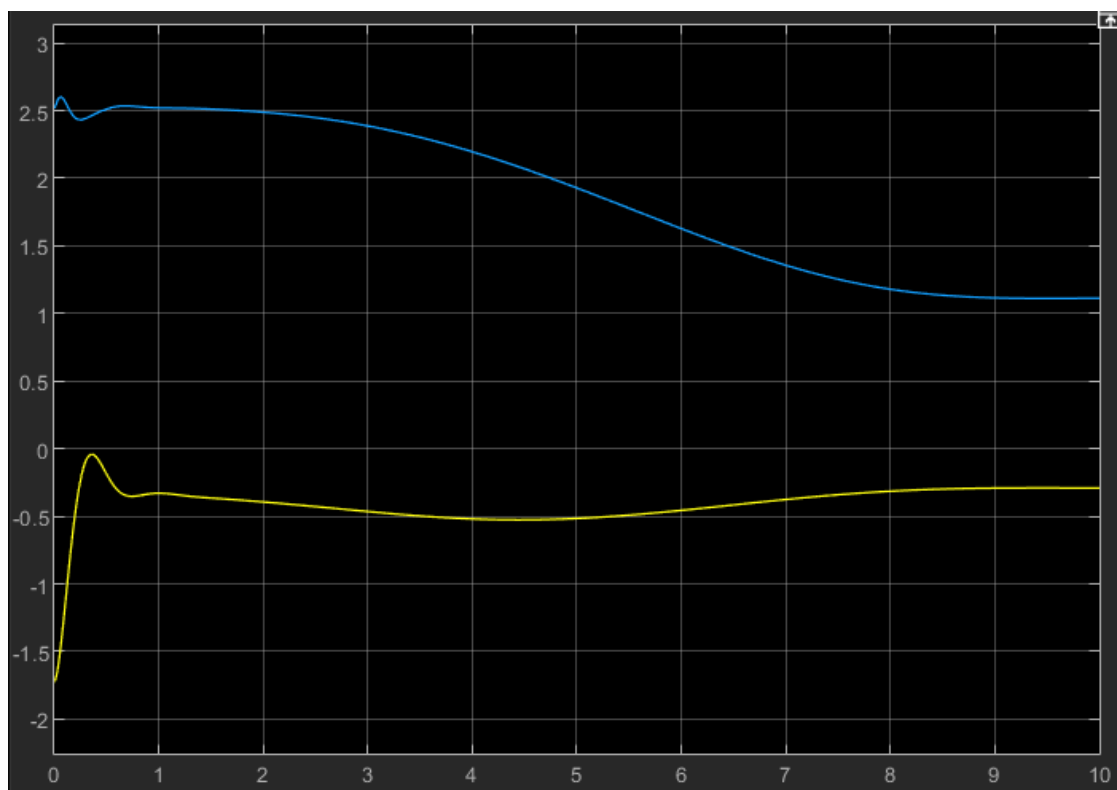
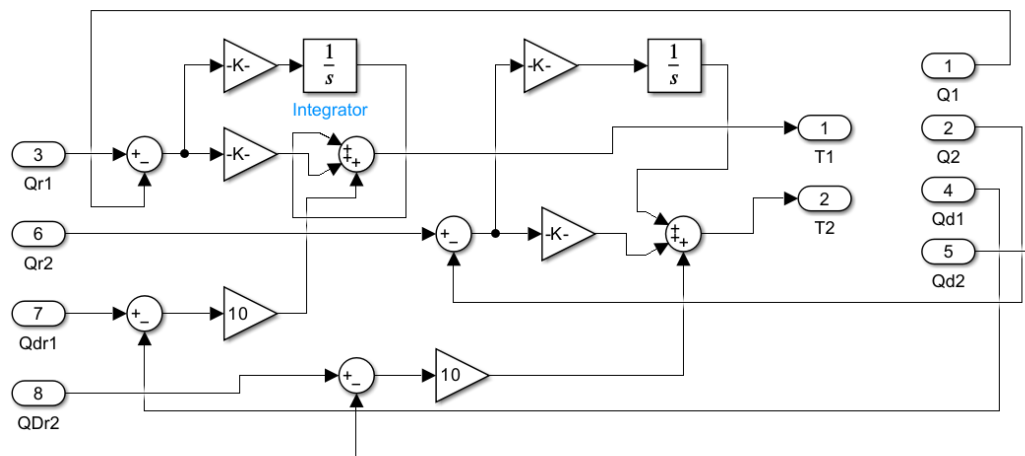
Quarto quesito (controllori non-lineari con gravità)

Per **controllori non lineari** si intendono tipi di controllori che vengono utilizzati nei sistemi di controllo per gestire e regolare sistemi dinamici non lineari. A differenza di quelli lineari, che si basano sul principio di **sovrapposizione degli effetti** e sulle proprietà lineari del sistema, i controllori non lineari tengono conto delle non linearità intrinseche del sistema.

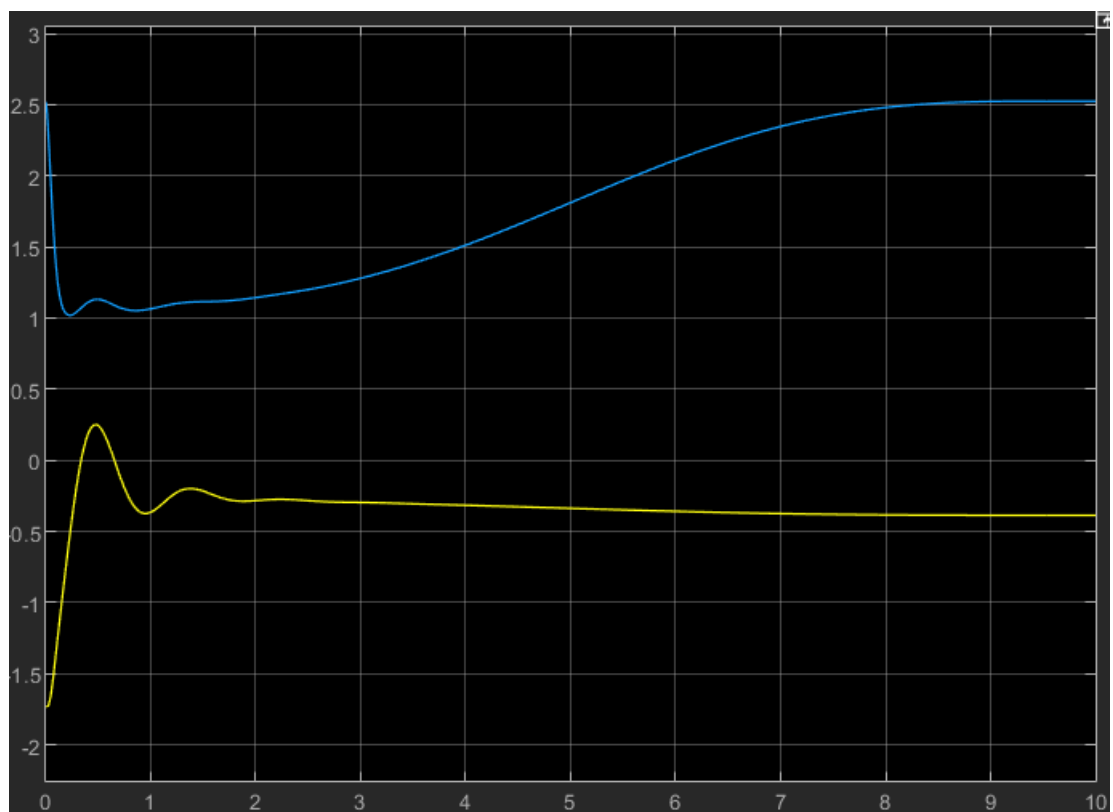
L'approccio non lineare può offrire una maggiore flessibilità e prestazioni rispetto ai controllori lineari, ma richiede una modellazione accurata del sistema e una progettazione attenta.

L'obiettivo di un controllore non lineare è quello di generare segnali di controllo che guidino il sistema verso un determinato stato desiderato o che mantengano le variabili di uscita all'interno di determinati limiti.

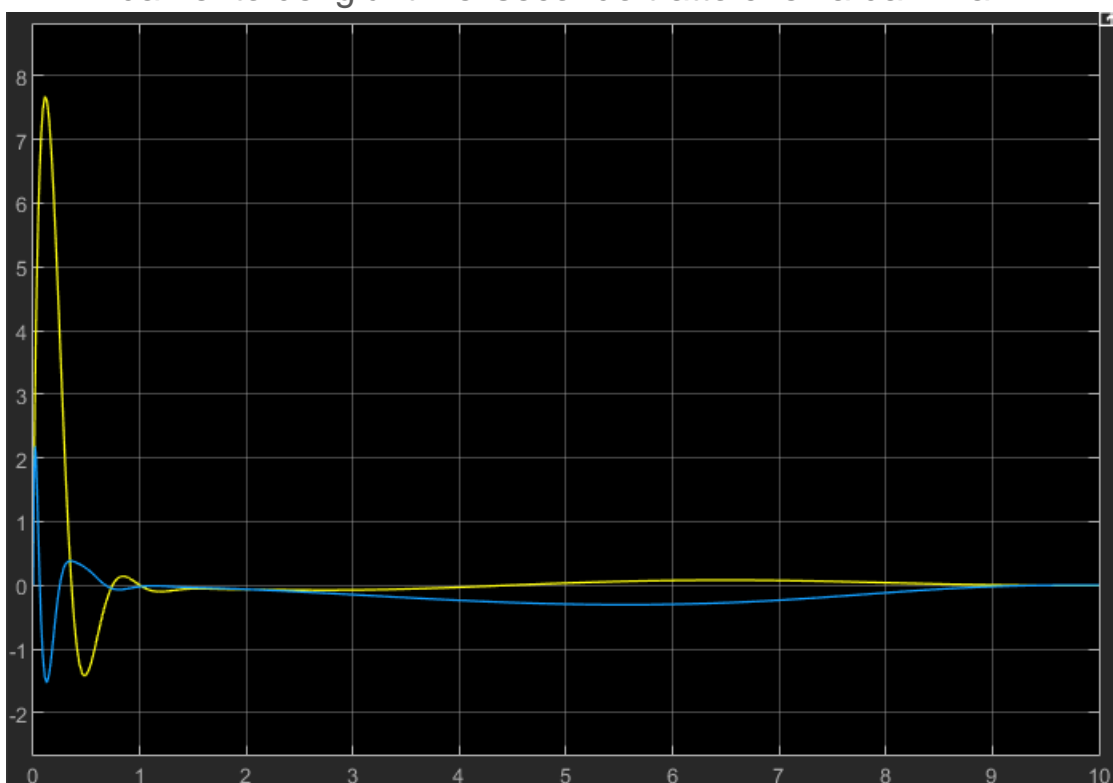
Come **primo controllore non lineare** possiamo svilupparne uno che compensa la gravità, nel caso ideale:



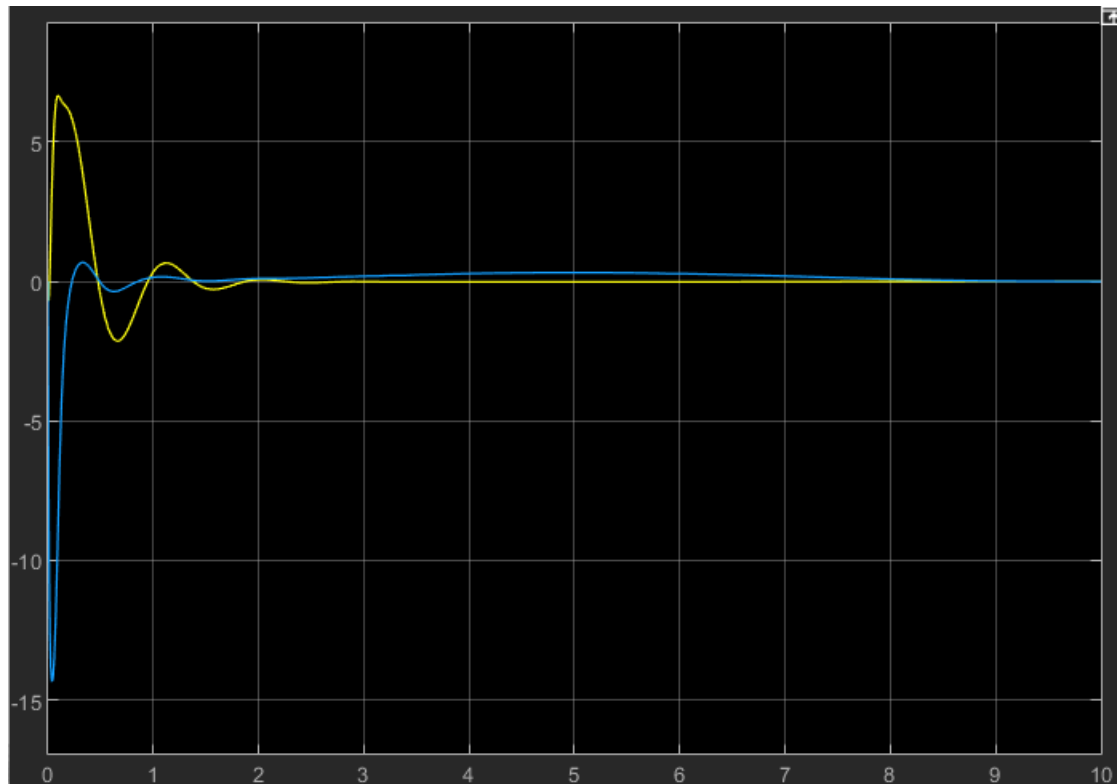
Andamento dei giunti nel primo tratto che va da P1 a P2



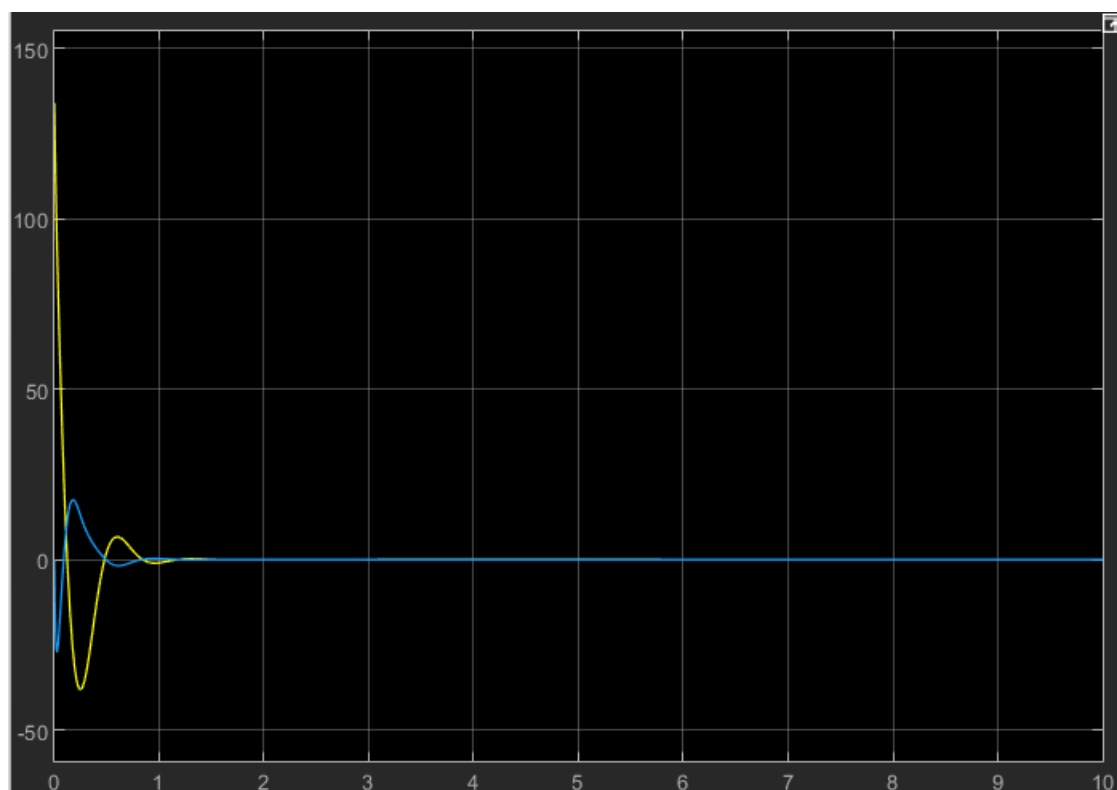
Andamento dei giunti nel secondo tratto che va da P2 a P1



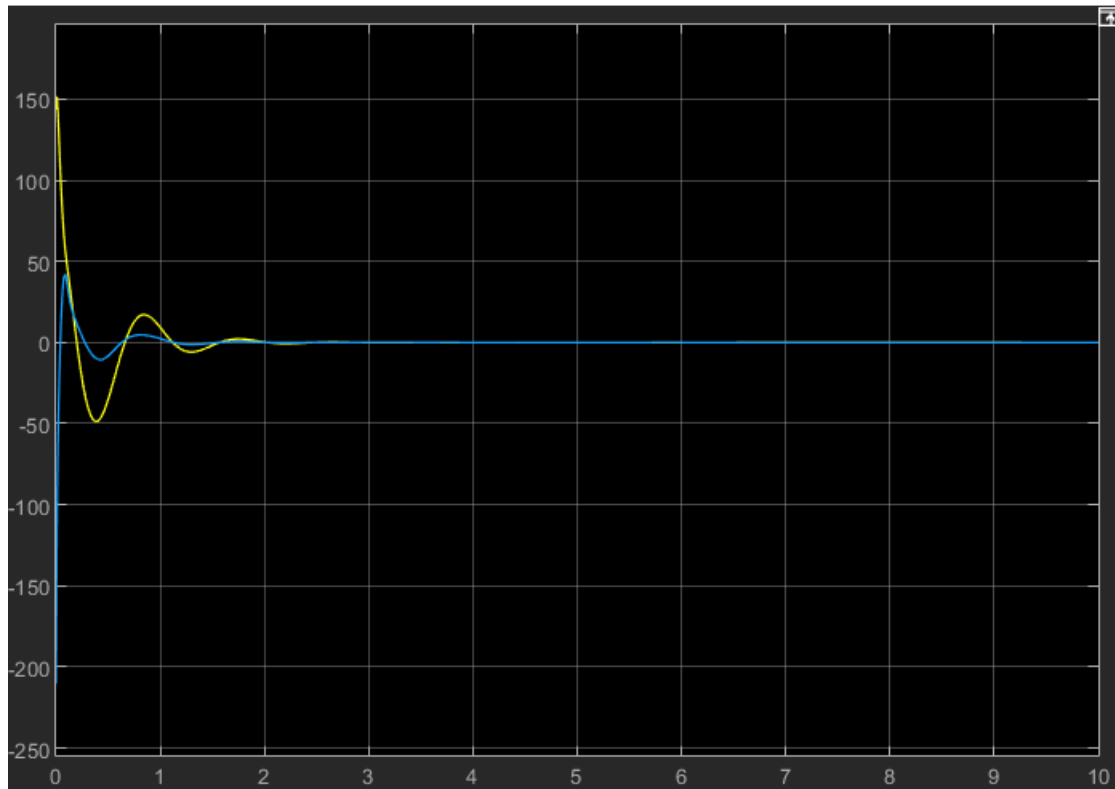
Andamento della velocità dei giunti nel primo tratto



Andamento della velocità dei giunti nel secondo tratto

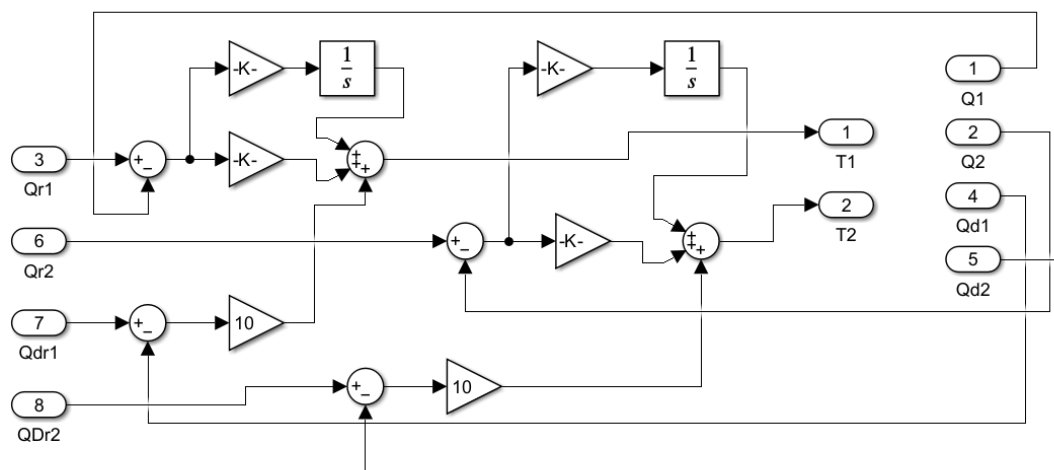


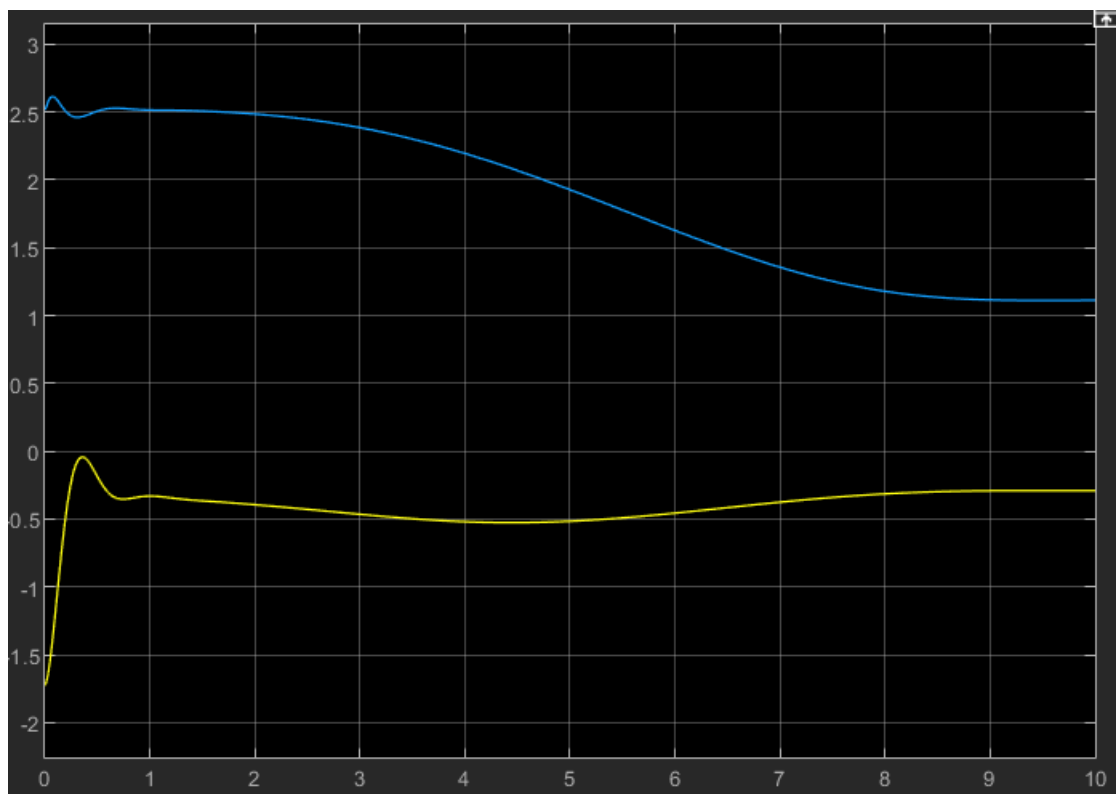
Forze applicate ai giunti nel primo tratto



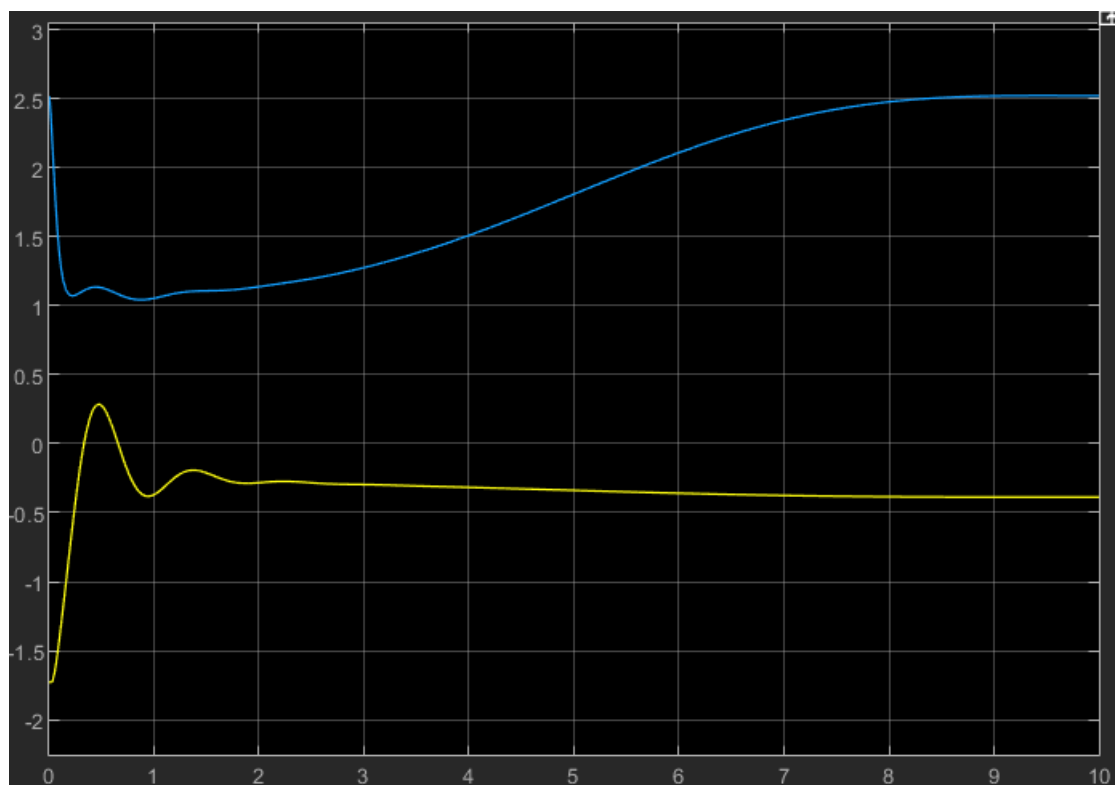
Forze applicate ai giunti nel secondo tratto

Come **secondo controllore non lineare**, ne possiamo sviluppare uno che oltre alla compensazione della gravità, presenta una compensazione anche per le forze apparenti:

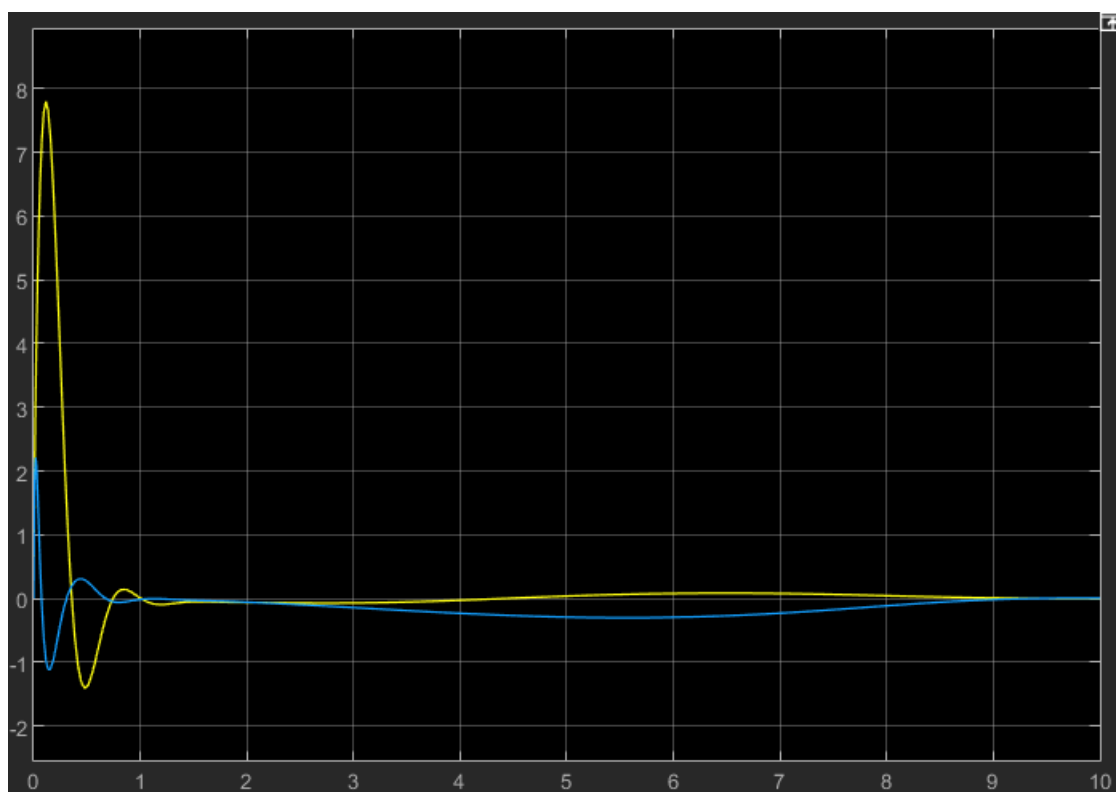




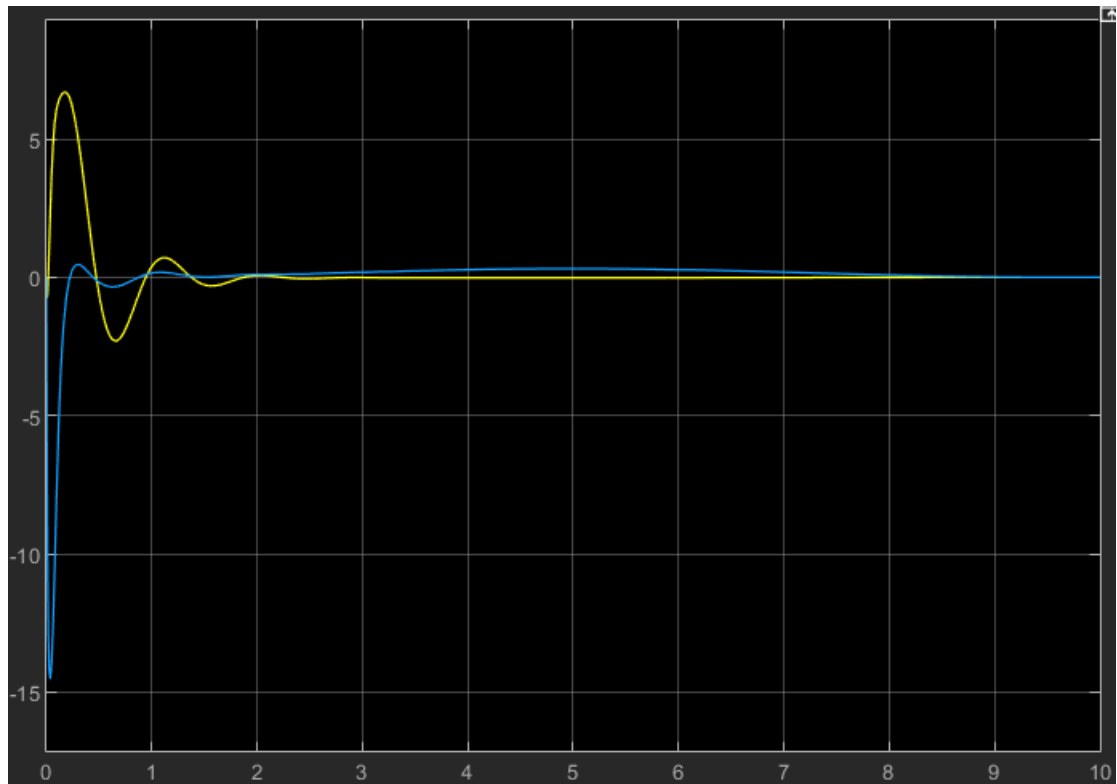
Andamento dei giunti nel primo tratto



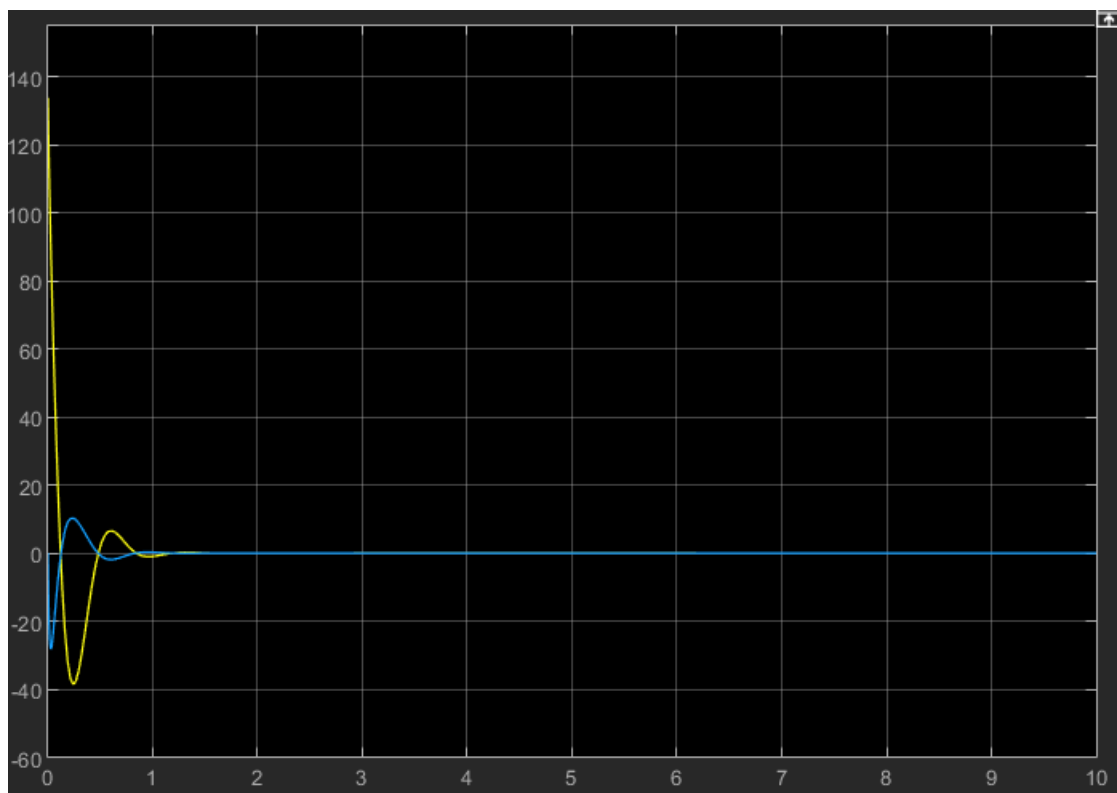
Andamento dei giunti nel secondo tratto



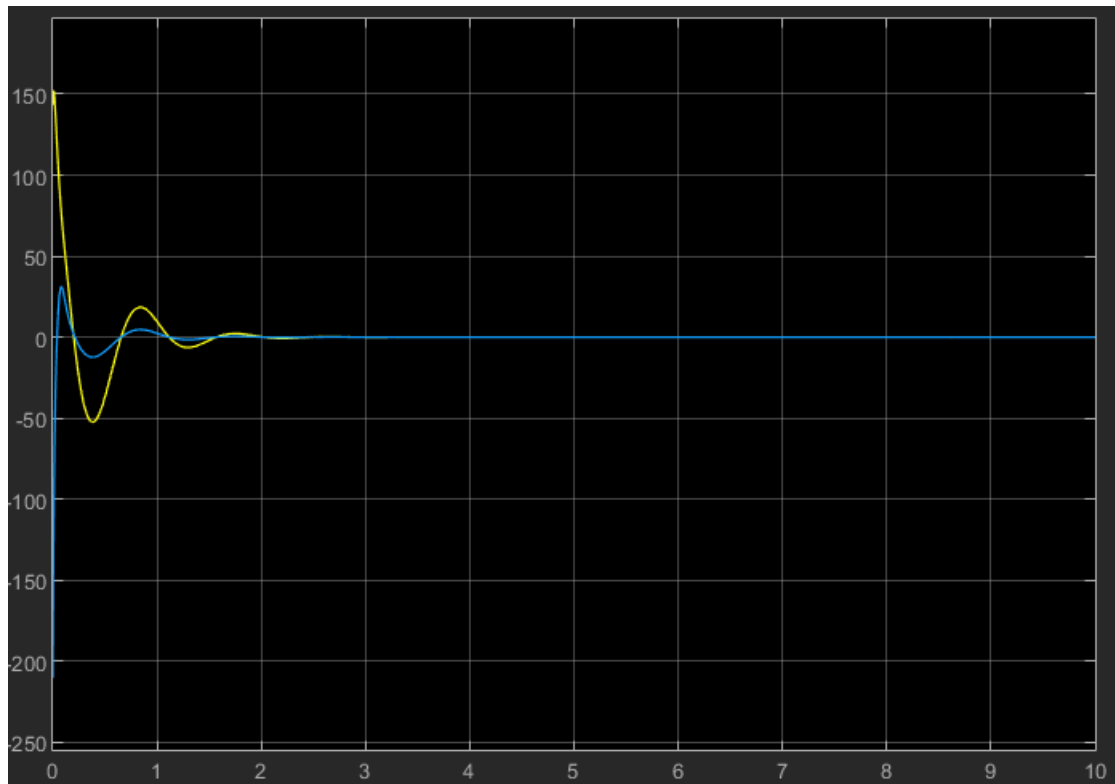
Velocità dei giunti nel primo tratto



Velocità dei giunti nel secondo tratto



Forze applicate ai giunti nel primo tratto



Forze applicate ai giunti nel secondo tratto