Esame di “FONDAMENTI DI AUTOMATICA” (9 CFU)

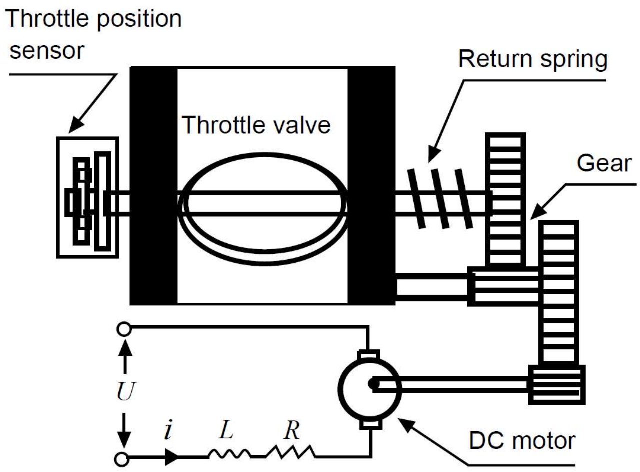
Prova MATLAB – 18 luglio 2022 – Testo B

Istruzioni per lo svolgimento: lo studente deve consegnare al termine della prova una cartella nominata Cognome_Nome, contenente:

1. Un Matlab script file (i.e. file di testo con estensione .m) riportante i comandi eseguiti e <u>la risposta alle eventuali richieste teoriche sotto forma di commento</u> (i.e. riga di testo preceduta dal simbolo %)
   NOTA: per copiare i comandi dalla Command History, visualizzarla tramite menu “Layout → Command History → Docked”, selezionare in tale finestra le righe di interesse tramite *Ctrl+mouse left-click* e dal menu visualizzato tramite *mouse right-click* selezionare “create script”
2. Le figure rilevanti per la dimostrazione dei risultati ottenuti in **formato JPEG o PNG** <u>avendo cura di salvare i file delle figure quando queste mostrano le caratteristiche di interesse per la verifica del progetto</u> (i.e. Settling Time, Stability Margins, ecc.).
   NOTA: per salvare una figura Matlab in formato PNG o JPG, usare il menu “File → Save as” dalla finestra della figura di interesse, assegnarle un nome e selezionare l’estensione *.PNG o *.JPG nel menu a tendina “salva come”, <u>avendo cura che le figure siano salvate quando queste mostrano le caratteristiche di interesse per la verifica del progetto</u>

INTRODUZIONE

Si consideri il sistema di azionamento ride-by-wire della valvola a farfalla di un automobile, mostrato nella seguente figura:



il cui modello matematico è stato oggetto dei primi esercizi della prova scritta odierna (Testo 9 CFU). Il modello esteso, del tipo

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t);\ y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

è inizializzato dallo script **`initAutomaticaTestoB.m`** fornito dal docente.

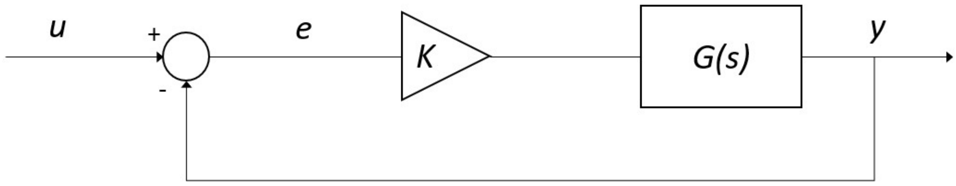
ESERCIZIO 1.

a) Dato il modello ottenuto nell’introduzione, si ricavi la funzione di trasferimento G(s) del sistema in esame.

b) Si determinino i poli della funzione di trasferimento e si verifichi se coincidono con gli autovalori di A. Descrivere il motivo di eventuali discrepanze tramite righe di commento (i.e. precedute dal simbolo %) sul file .m

ESERCIZIO 2

Si consideri il sistema in retroazione unitaria rappresentato in figura:

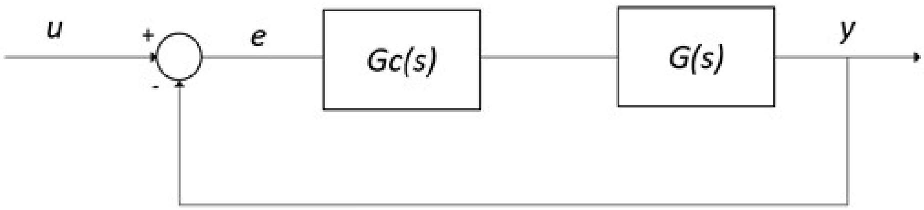


Con G(s) ricavata al punto a) dell'Esercizio 1.
Si verifichi se il sistema ad anello chiuso, con guadagno $K = 1$, risulti o meno stabile tramite l'analisi della risposta $y(t)$ al gradino unitario.

a) Si determini, se esiste, il valore del guadagno K_{lim} per il quale il sistema risulta semplicemente stabile, utilizzando il grafico del luogo delle radici della funzione G(s).
b) Si ponga $K_1 = 0.8\, K_{lim}$, si visualizzi l'andamento della risposta al gradino $y(t)$ del sistema chiuso in retroazione con tale guadagno e si determini il tempo d'assestamento al 5%.
c) Si determini il valore a regime della risposta al gradino $y(t)$ e si motivi il risultato tramite righe di commento (i.e. precedute dal simbolo %) sul file .m

ESERCIZIO 3

Si consideri il sistema rappresentato in figura



con $G(s)$ ricavata dall'Esercizio 1.

a) Si determinino come possibili funzioni di trasferimento alternative per il controllore $G_c(s)$ quelle di un regolatore di tipo **PI** e di uno di tipo **PD** (i.e. si escluda il **PID**!) considerati entrambi nella <u>formulazione classica</u> e con i parametri K_p, T_i, T_d tarati secondo il metodo di Ziegler-Nichols basato sull'oscillazione critica ad anello chiuso (vedi tabella allegata).
b) Si verifichi tramite l'analisi della risposta al gradino del sistema compensato e chiuso in retroazione quale tra i regolatori proposti sia il più efficace in termini di massima sovraelongazione percentuale e tempo di assestamento.

TIPO	K_p	T_i	T_d
PI	0.45 K_0	0.85 T_0	-
PD	0.5 K_0	-	0.2 T_0

NOTA:

K_0 = guadagno critico, di fatto corrispondente al guadagno K_{lim} determinato al punto b) dell'Esercizio 2, cioè tale per cui il sistema chiuso in retroazione risulti semplicemente stabile (i.e. con oscillazione persistente della risposta).

T_0 = periodo delle oscillazioni della risposta in condizione di stabilità semplice ad anello chiuso.

SOLUZIONE (traccia):

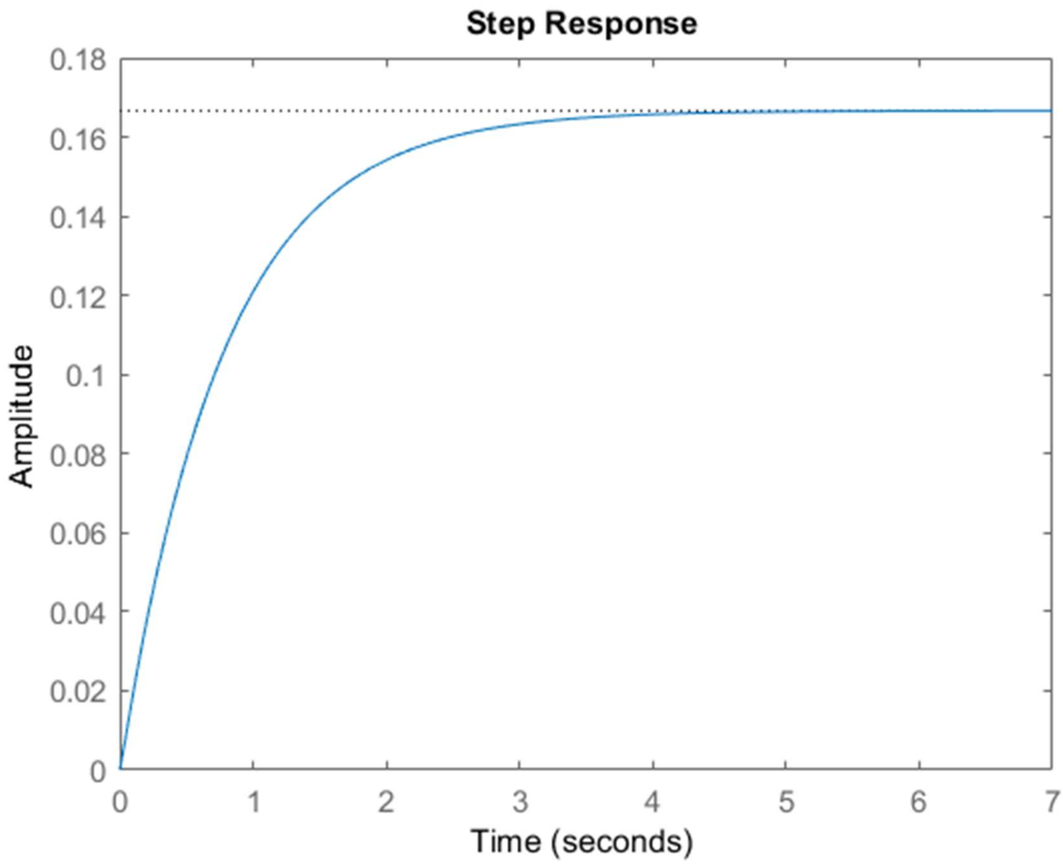
Contenuto di `initAutomaticaTestoA`

```
% Inizializzazione parametri
Kt=0.1;
J=0.01;
N=40;
L=0.1;
R=2;
Kv=0.8;
Ks=10;

% Inizializzazione matrici
A = [    0,          1,         0;
      -Ks/J,      -Kv/J,  (Kt*N)/J;
      0, -(Kt*N)/L,      -R/L]
B = [0;
     0;
     1/L]
C=[1 0 0]
D=0
s=tf('s');
```

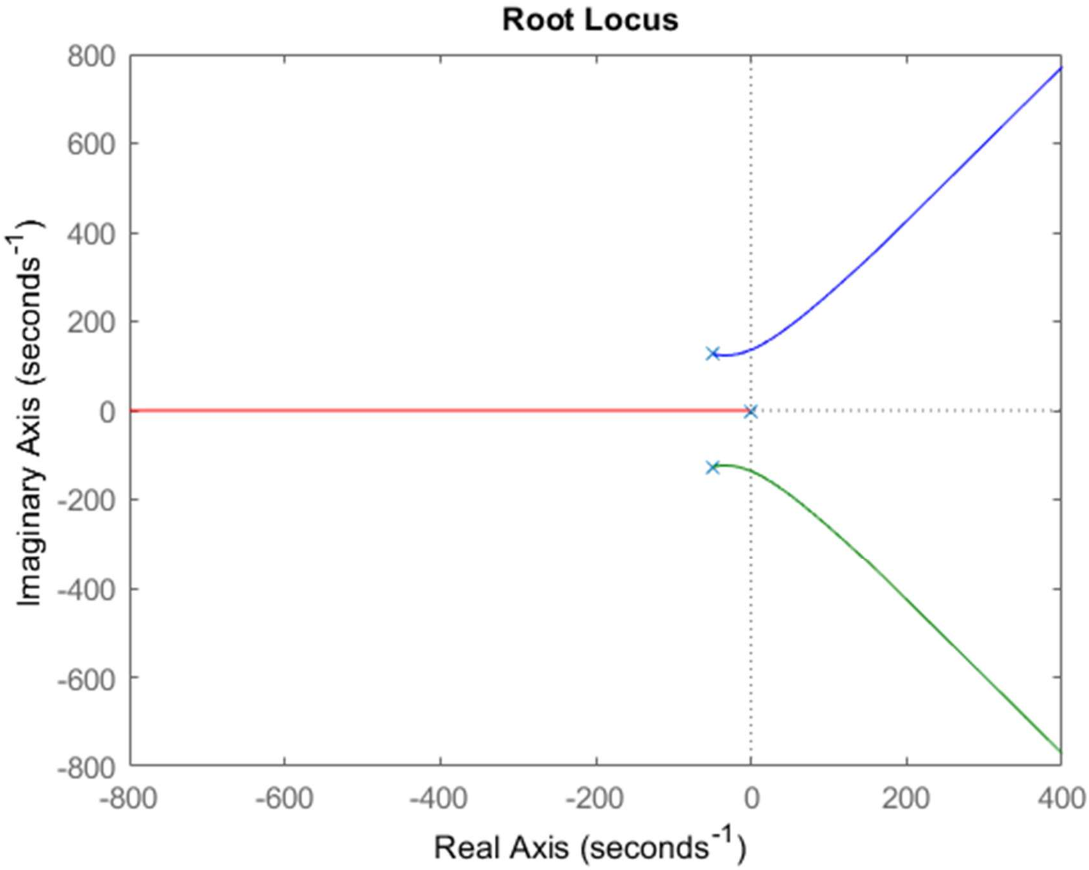
Svolgimento:

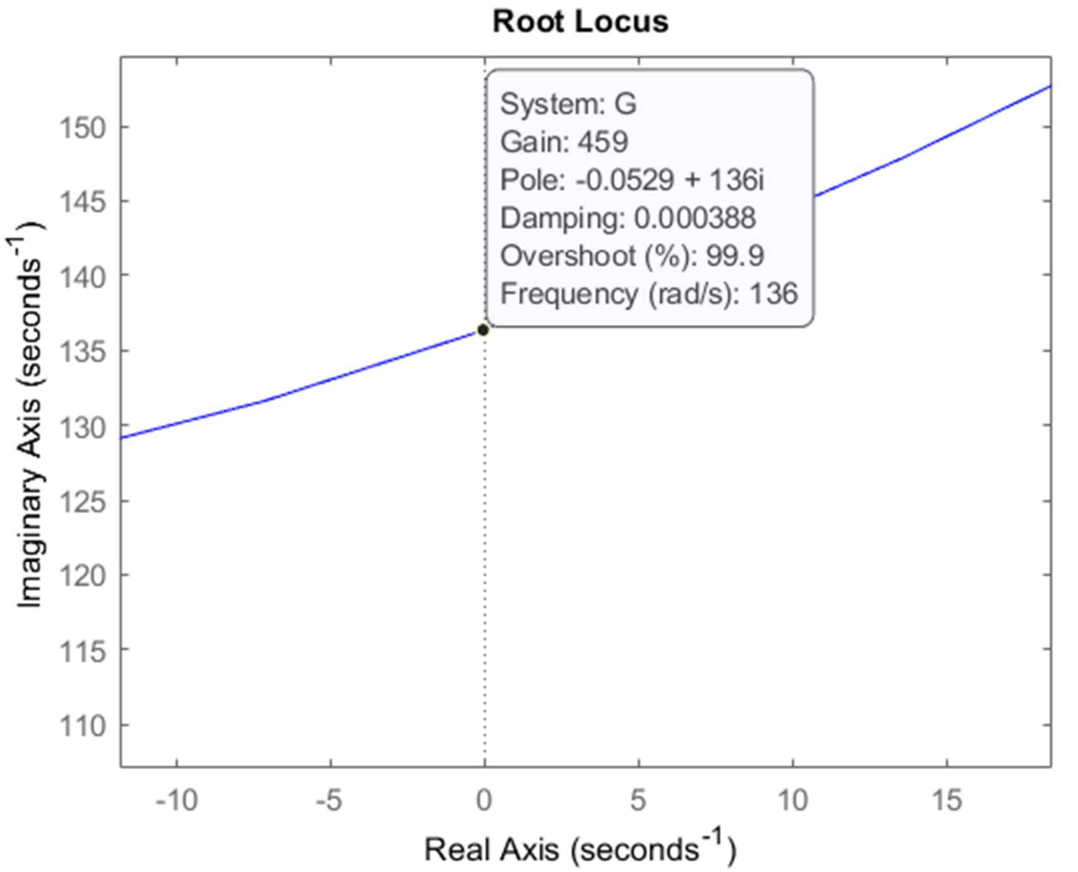
```
sys=ss(A,B,C,D)
G=tf(sys)

G =
```

```
                 4000
  --------------------------------
  s^3 + 100 s^2 + 1.86e04 s + 2e04

pole(G)
ans =  1.0e+02 *
  -0.4946 + 1.2668i
  -0.4946 - 1.2668i
  -0.0108 + 0.0000i

eig(A)
ans =  1.0e+02 *
  -0.0108 + 0.0000i
  -0.4946 + 1.2668i
  -0.4946 - 1.2668i% Poli e autovalori coincidono (sistema completamente controllabile e osservabile)

Gcl=feedback(G,1)
step(Gcl)
```



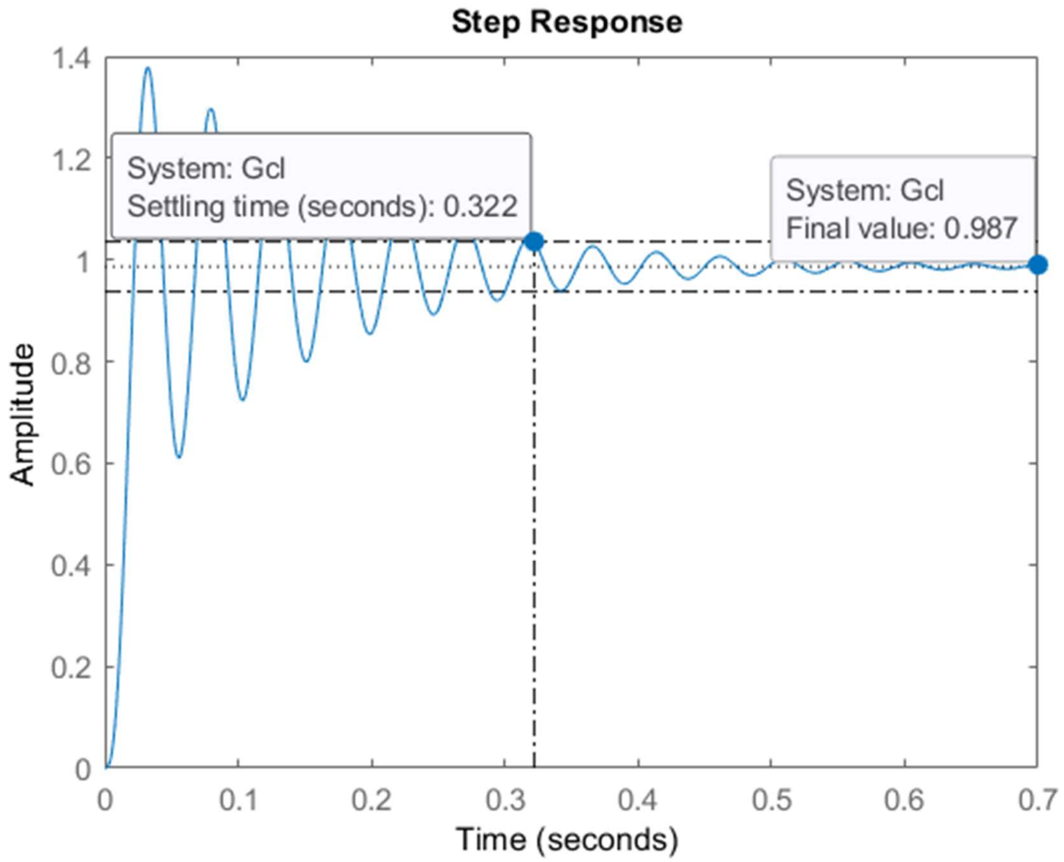

```
rlocus(G)
```


Root Locus
Imaginary Axis (seconds-1)
Real Axis (seconds-1)
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
-800
-600
-400
-200
0
200
400

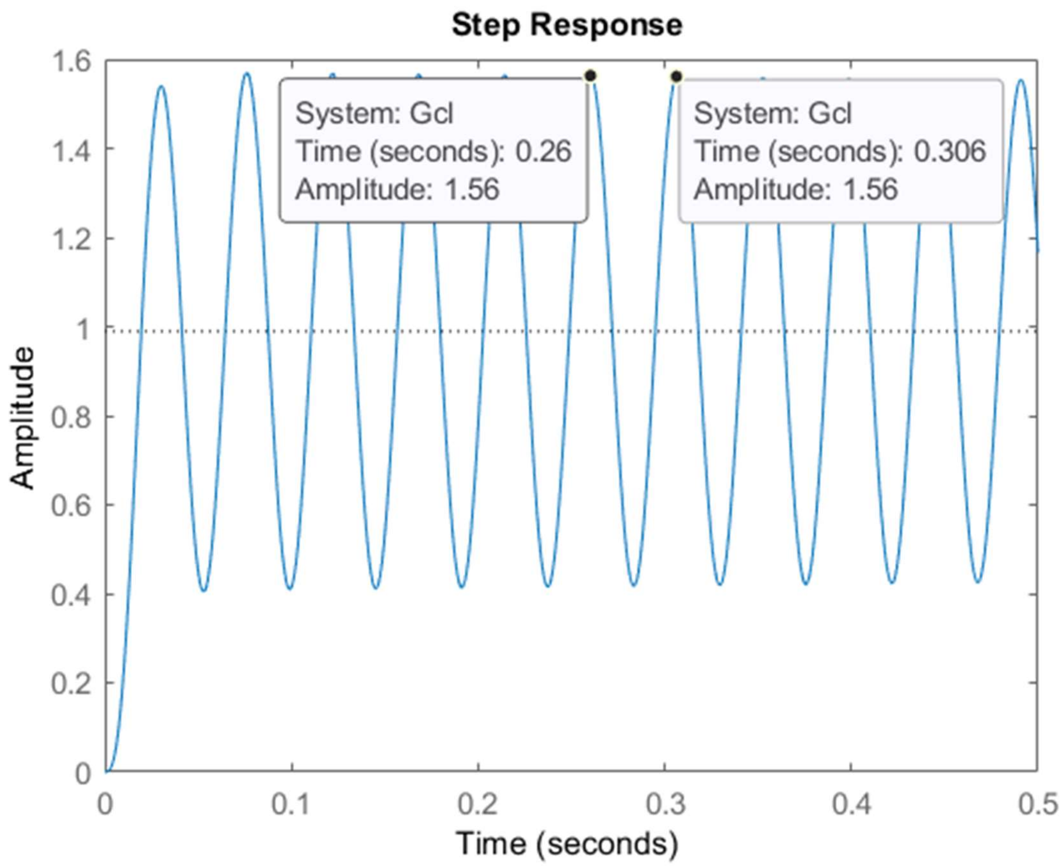

Root Locus
System: G
Gain: 459
Pole: -0.0529 + 136i
Damping: 0.000388
Overshoot (%): 99.9
Frequency (rad/s): 136
Imaginary Axis (seconds-1)
Real Axis (seconds-1)
150
145
140
135
130
125
120
115
110
-10
-5
0
5
10
15

```
Klim = 459
```

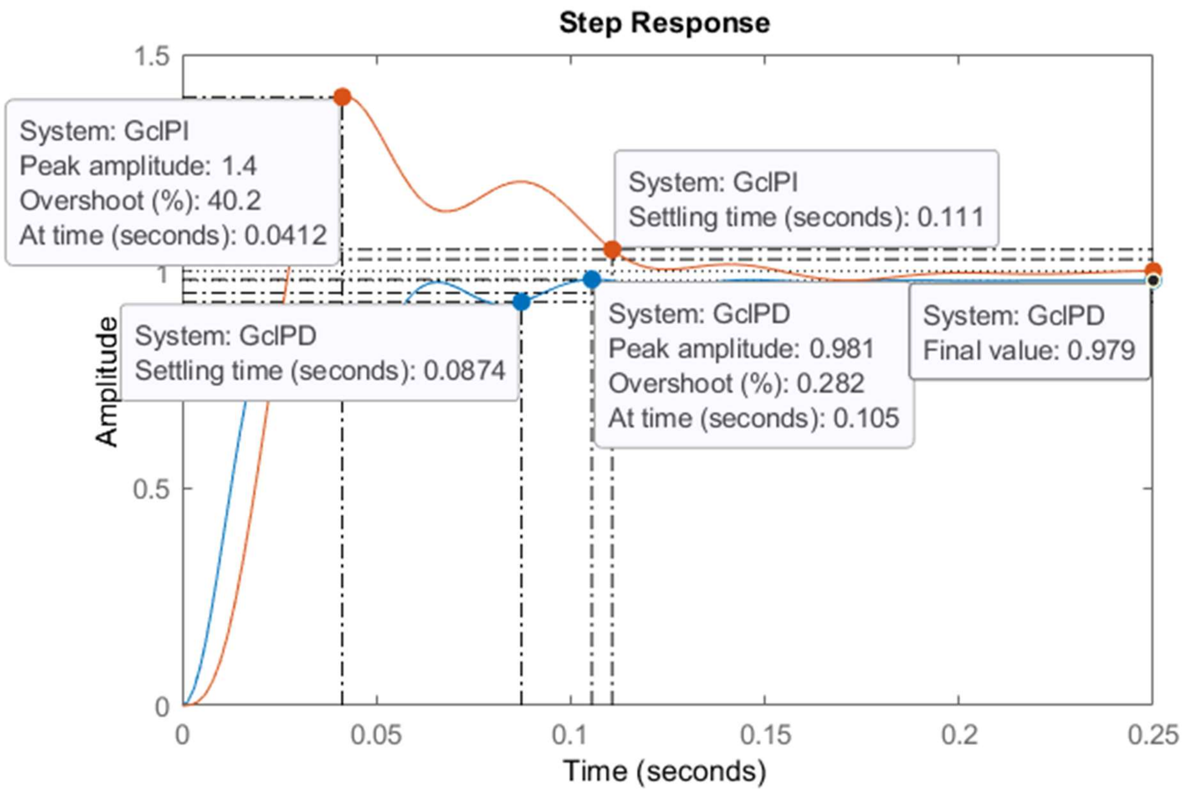
```
Gcl=feedback(0.8*Klim*G,1)

step(Gcl)
```




```
% Valore a regime < 1 (errore NON nullo in risposta al gradino unitario), perché il sistema NON è di tipo 1, cioè NON ha un polo nell'origine)

Gcl=feedback(Klim*G,1)
step(Gcl)
% Riduco il tempo del grafico di risposta al gradino unitario per vedere meglio le oscillazioni
step(Gcl,10)
```




```
T0 = 0.306-0.26
K0 = Klim

% Costruisco il PD
Kp=0.5*K0
Td=0.2*T0
s=tf('s')
PID=Kp*(1+Td*s)

% Costruisco il PI
Kp=0.45*K0
Ti=0.85*T0
PI=Kp*(1+1/(Ti*s))

% Confronto PD vs PI
GclPD=feedback(PD*G,1)
GclPI=feedback(PI*G,1)

step(GclPD)
hold on
step(GclPI)
```



% Il PD fornisce una prestazione migliore in termini di tempo di assestamento e overshoot, tuttavia non garantisce errore a regime nullo (sebbene questo sia molto piccolo, cioè 1-0.979=0.021). In questa applicazione automobilistica potrebbe tale errore potrebbe anche essere accettabile (considerate le elevate tolleranze e variabilità che caratterizzano tali tipi di sistemi di controllo).