Esame di “FONDAMENTI DI AUTOMATICA” (9 CFU)

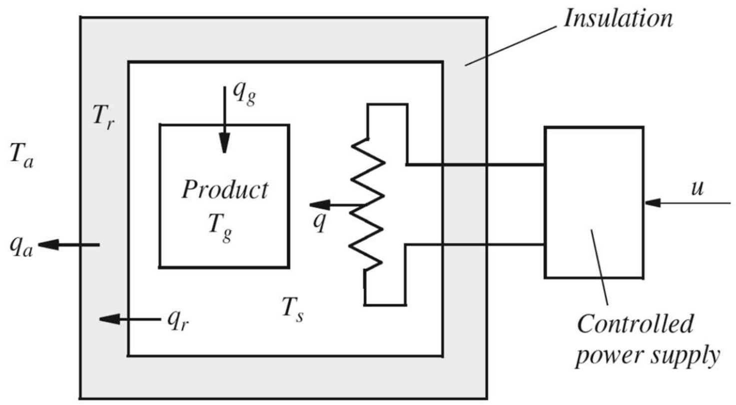
Prova MATLAB – 18 luglio 2022 – Testo A

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 la risposta alle eventuali richieste teoriche sotto forma di commento (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** avendo cura di salvare i file delle figure quando queste mostrano le caratteristiche di interesse per la verifica del progetto (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”, avendo cura che le figure siano salvate quando queste mostrano le caratteristiche di interesse per la verifica del progetto

INTRODUZIONE

Si consideri il forno industriale mostrato nella seguente figura:



il cui modello matematico è stato oggetto dei primi esercizi della prova scritta odierna (Testo 6 CFU). Il modello esteso, del tipo

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

è inizializzato dallo script `initAutomaticaTestoA.m` fornito dal docente.

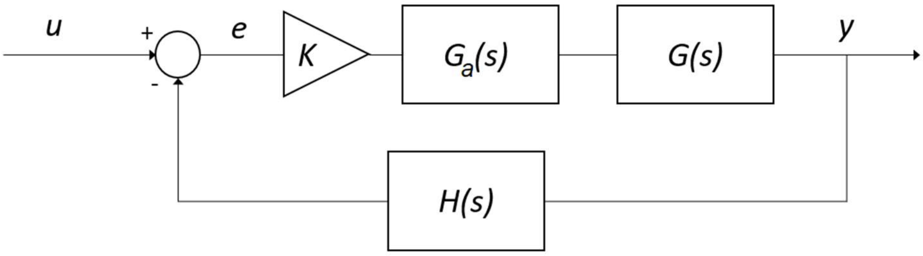
ESERCIZIO 1.

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:



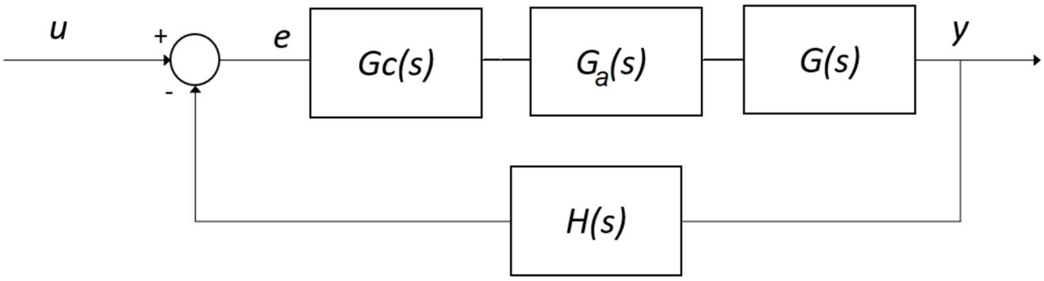
Con G(s) ricavata al punto a) dell'Esercizio 1, $G_a(s)$ e H(s) inizializzate dallo script **`initAutomaticaTestoA.m.`**

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 $G_a(s)$*G(s)*H(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, $G_a(s)$ e H(s) inizializzate dallo script **`initAutomaticaTestoA.m.`**

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 **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	-
PID	0.6 K_0	0.5 T_0	0.125 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.

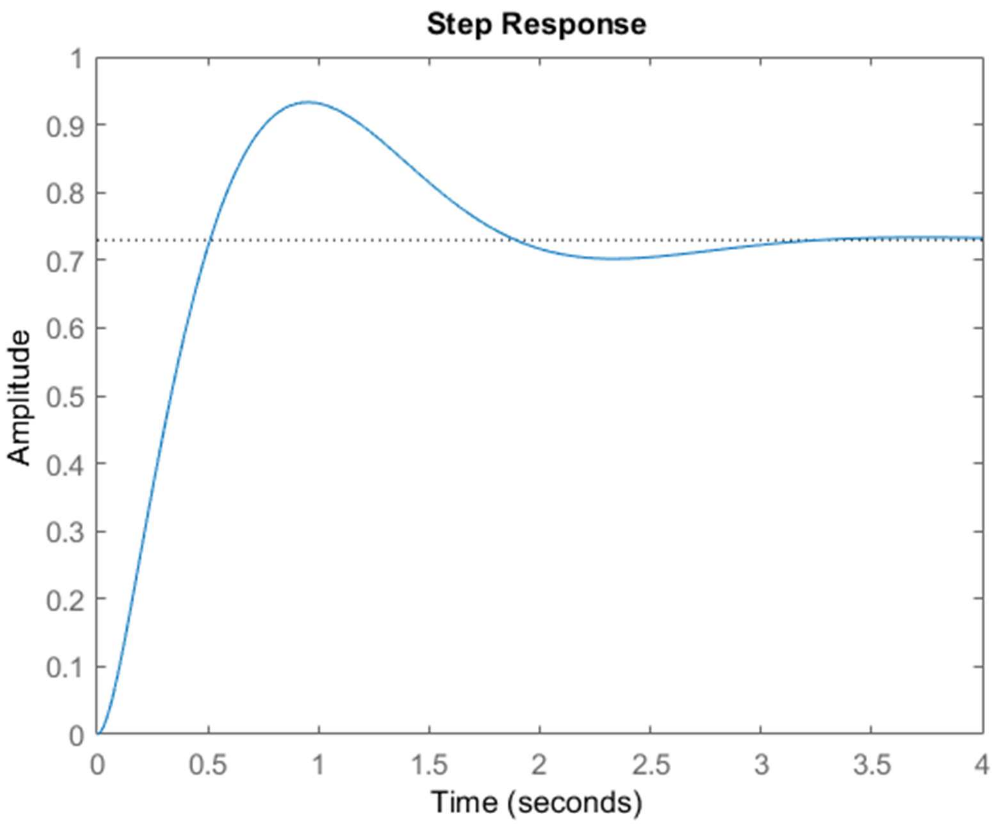
SOLUZIONE (traccia):

Contenuto di `initAutomaticaTestoA`

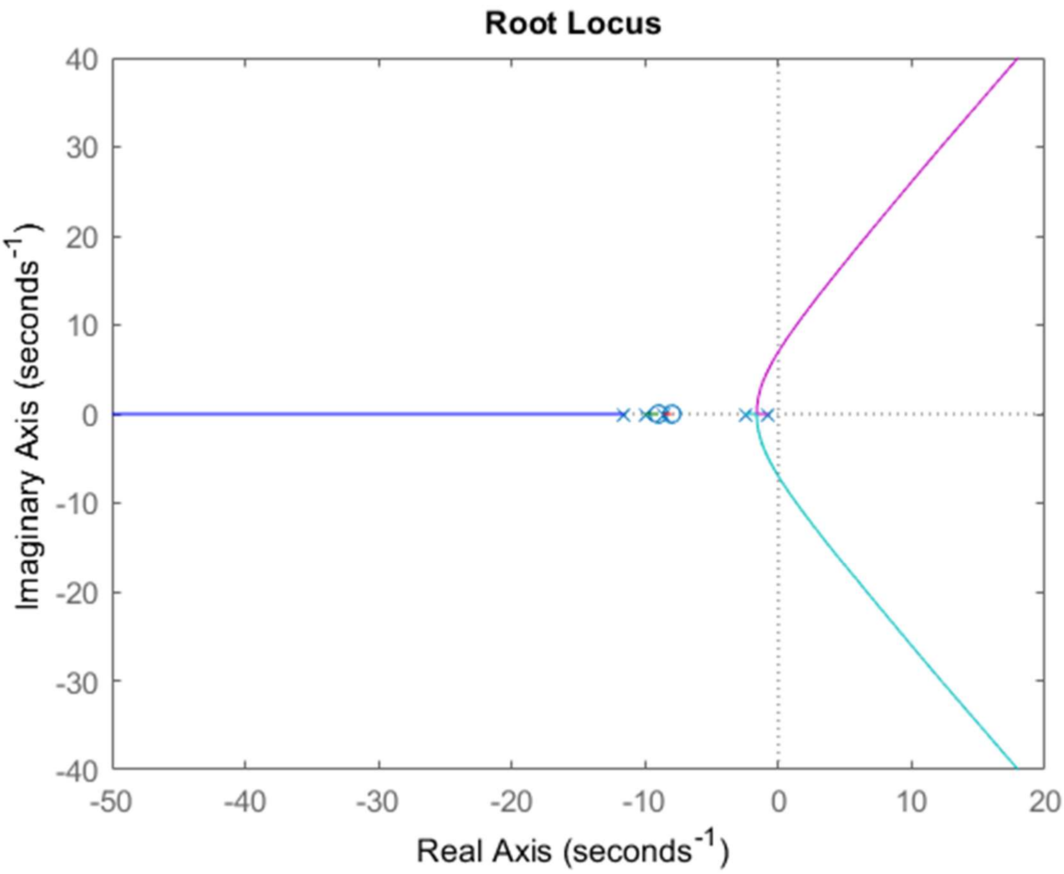
```
% Inizializzazione parametri
Kc=240;
Kr=160;
Kg=160;
Ka=200;
Cr=40;
Cg=20;
Cs=80;

% Inizializzazione matrici
A = [ -(Kg + Kr)/Cs,  Kg/Cs,          Kr/Cs;
        Kg/Cg, -Kg/Cg,             0;
        Kr/Cr,      0, -(Ka + Kr)/Cr]
B = [Kc/Cs;
     0;
     0]
C=[1 0 0]
D=0

s=tf('s');
% Inizializzazione FdT attuatore
Ga=1/(1+s*0.1)

% Inizializzazione FdT sensore
H=1/(1+s*0.4)
```

Svolgimento:

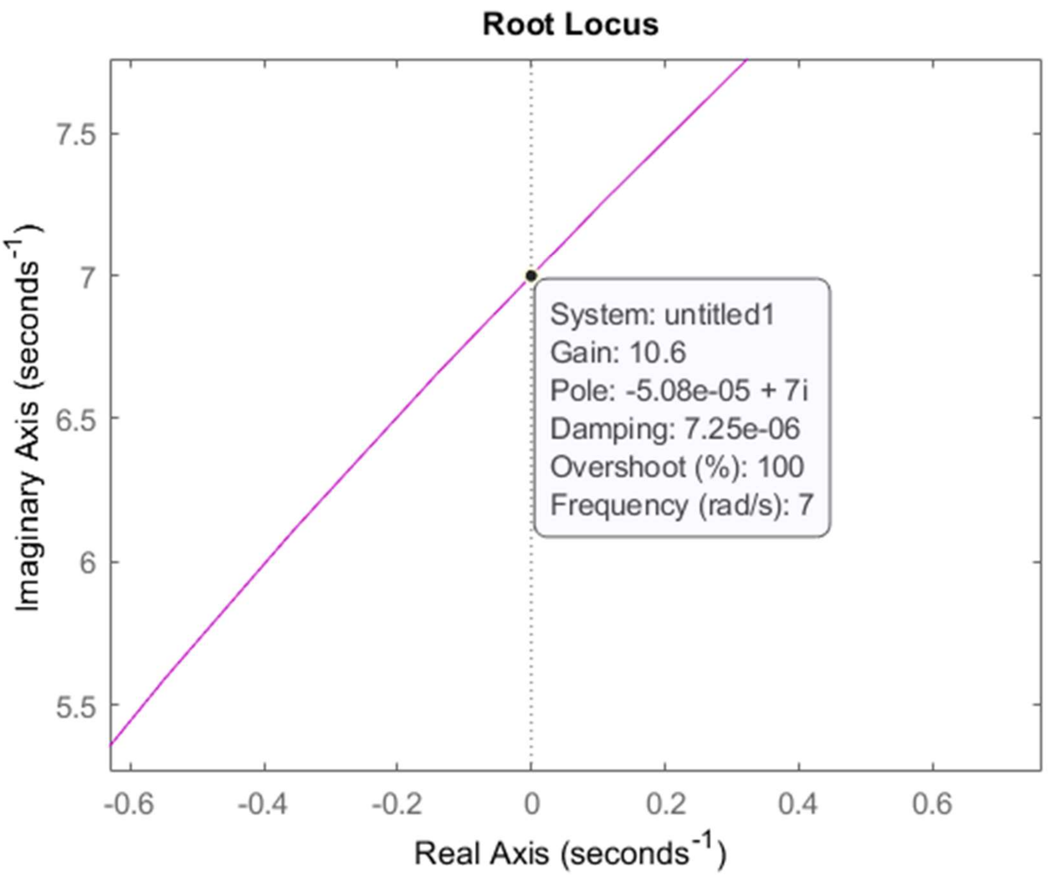
```
sys=ss(A,B,C,D)
G=tf(sys)

G =
     3 s^2 + 51 s + 216
  -------------------------
  s^3 + 21 s^2 + 116 s + 80

pole(G)
ans =  -11.5771
   -8.6214
   -0.8015

eig(A)
ans =  --0.8015
  -11.5771
   -8.6214
% Poli e autovalori coincidono (sistema completamente
controllabile e osservabile)

Gcl=feedback(Ga*G,H)
step(Gcl)
```



```
rlocus(Ga*G*H)
```

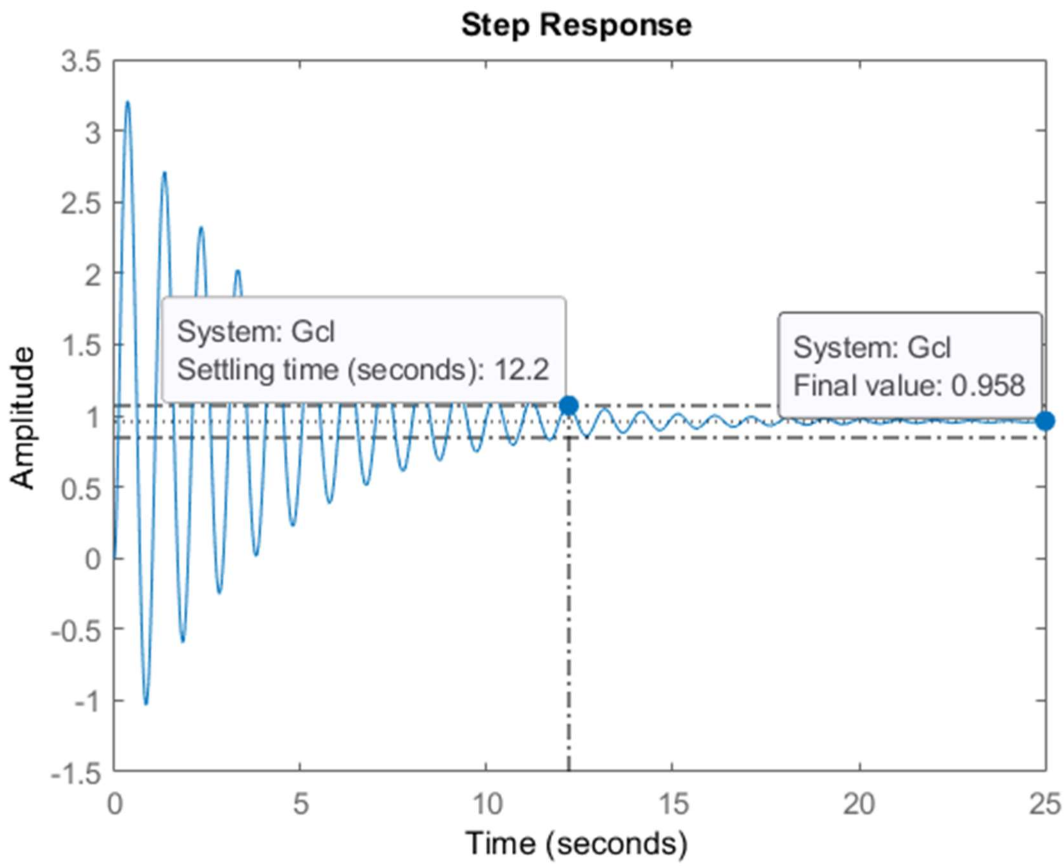


Root Locus
Imaginary Axis (seconds^{-1})
Real Axis (seconds^{-1})
40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-40
-30
-20
-10
0
10
20

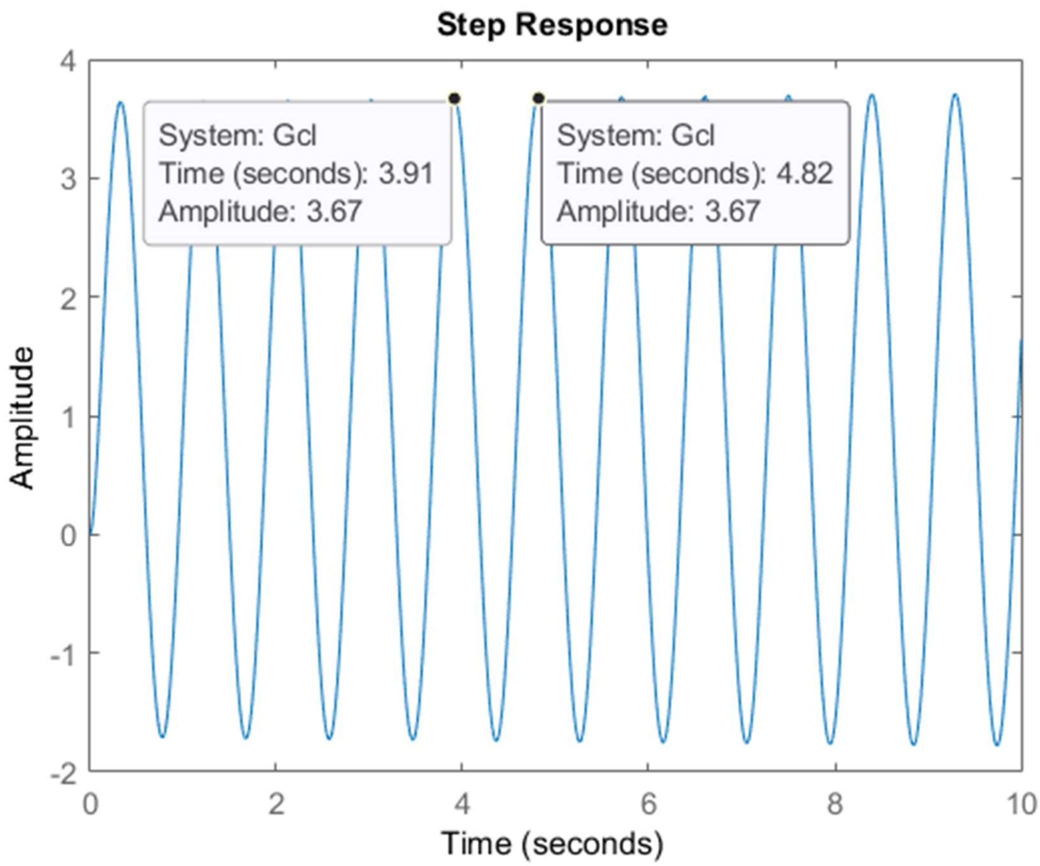


Root Locus
Imaginary Axis (seconds^{-1})
Real Axis (seconds^{-1})
System: untitled1
Gain: 10.6
Pole: -5.08e-05 + 7i
Damping: 7.25e-06
Overshoot (%): 100
Frequency (rad/s): 7
7.5
7
6.5
6
5.5
-0.6
-0.4
-0.2
0
0.2
0.4
0.6

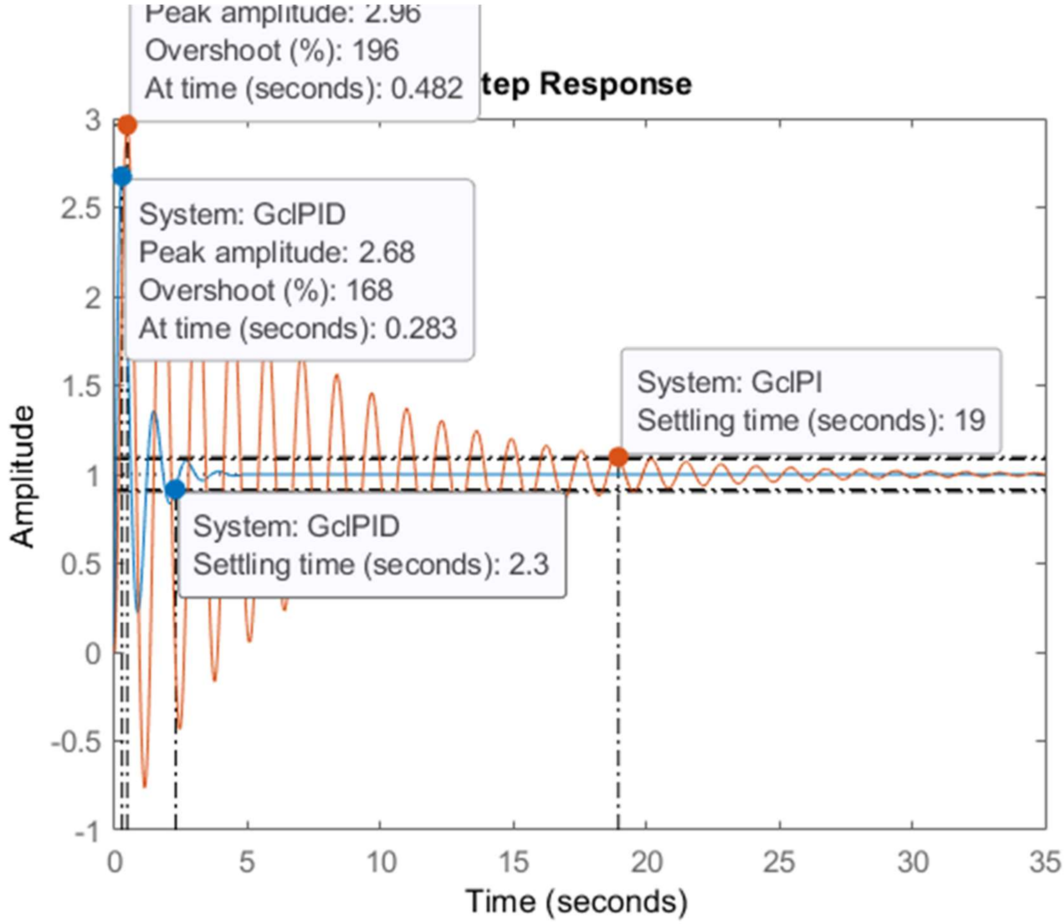
```
Klim = 10.6

Gcl=feedback(0.8*Klim*Ga*G,H)

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




```
T0 = 4.82-3.91
K0 = Klim

% Costruisco il PID
Kp=0.6*K0
Ti=0.5*T0
Td=0.125*T0
s=tf('s')
PID=Kp*(1+1/Ti/s+Td*s)

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

% Confronto PID vs PI
GclPID=feedback(PID*Ga*G,H)
GclPI=feedback(PI*Ga*G,H)

step(GclPID)
hold on
step(GclPI)
```



% Il PID fornisce una prestazione migliore in senso assoluto, in assenza dell'azione predittiva del termine D il controllore PI determina infatti un'azione troppo poco smorzata per essere accettabile in una applicazione pratica (oscillazioni troppo evidenti e persistenti).