



Università degli Studi di Padova
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

PROGETTAZIONE E SIMULAZIONE DI UN SISTEMA DI CRUISE CONTROL IN AMBIENTE MATLAB SIMULINK

Laureando:
Marco Carletti

Relatore:
Prof.ssa Maria Elena Valcher



28 settembre 2023
Anno accademico 2022/2023



Introduzione

Il Cruise Control è un sistema di controllo elettronico in grado di regolare automaticamente la velocità del veicolo.

Dopo una frenata o un'accelerazione il sistema riporta il veicolo alla velocità impostata.



Vantaggi per il conducente:

- Sicurezza
- Consumi



Modellare e simulare il controllo della velocità tramite i seguenti metodi:

- Luogo delle radici
- Controllore PID
- Analisi in frequenza

Per lo studio sono stati utilizzati i programmi Matlab e Simulink



Modellizzazione del sistema (1)

Il modello semplificato che descrive il sistema è:



Che corrisponde all'equazione differenziale lineare:

$$m\dot{v} + bv = u$$

Dove l'obiettivo è il controllo della velocità $y = v$



Modellizzazione del sistema (2)

Necessitando di una sola variabile di stato, v
Ottengo il seguente modello in spazio di stato
$$\begin{cases} \dot{x} = \dot{v} = \frac{-b}{m}v + \frac{1}{m}u \\ y = v \end{cases}$$

```
1 m = 1000; %massa del veicolo
2 b = 50; %coeff. di attrito
3 u = 500; %forza di controllo
4 r = 10; %velocita' di riferimento
5
6 F = -b/m;
7 G = 1/m;
8 H = 1;
9 J = 0;
10
11 SS_cc = ss(F, G, H, J); %Modello in spazio di stato
```

Ottengo la funzione di trasferimento passando nel dominio delle trasformate di Laplace:

$$G(s) = \frac{V(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms + b} \left[\frac{m/s}{N} \right]$$

```
1 s = tf('s');
2 FdT = 1/(m*s+b); %Funzione di Trasferimento
```



Assumendo per i parametri del veicolo i seguenti valori:

Massa	m	1000 Kg
Coefficiente di attrito	b	50 Ns/m
Forza di controllo	u	500 N
Velocità di riferimento	r	10 m/s

Impongo i seguenti requisiti progettuali:

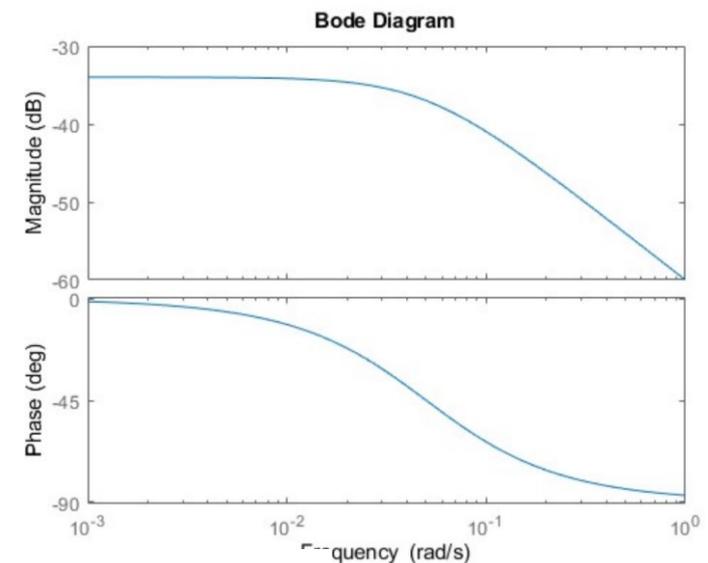
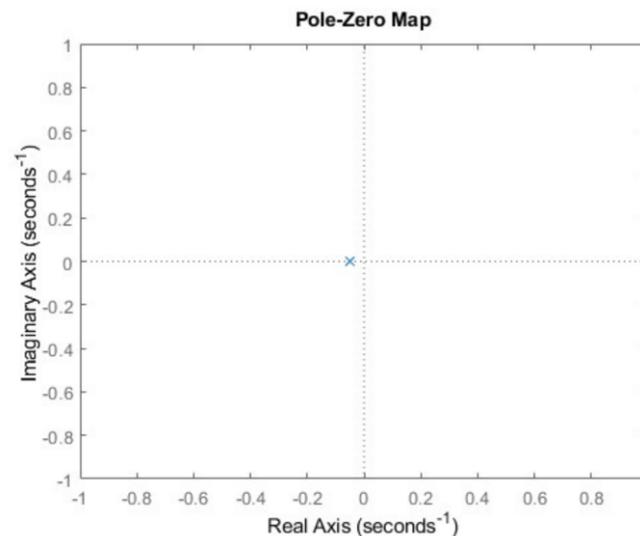
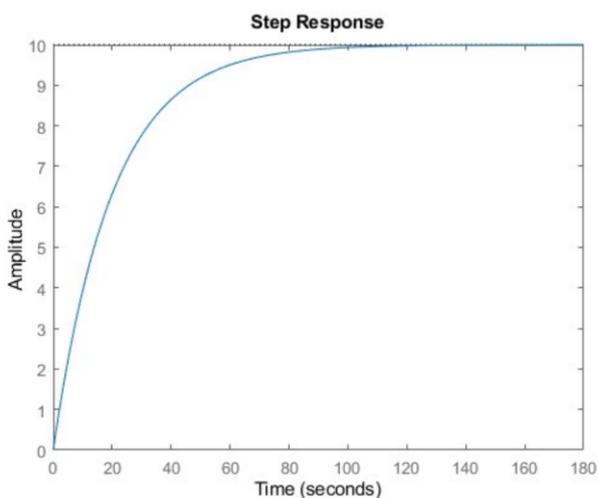
- tempo di salita $< 5s$
- sovraelongazione $< 10\%$
- errore a regime $< 2\%$



Sistema in catena aperta

In assenza di un controllore ho che il modulo va a circa -37dB in corrispondenza della pulsazione $\omega = -\frac{b}{m} = -5 \cdot 10^2$, unico polo della FdT, mentre la fase va a -45° .

Per frequenze elevate il diagramma delle ampiezze va a $-\infty$ con pendenza -20dB/dec mentre la fase si mantiene a -90° .



```
1 step(u*SS_cc); %risposta al gradino
```

```
1 pzmap(SS_cc); %diagramma zeri e poli  
2 axis([-1 1 -1 1]);
```

```
1 s = tf('s');  
2 FdT = 1/(m*s+b); %Funzione di Trasferimento  
3 bode(FdT); %Generazione diagrammi di Bode
```



Luogo delle radici (1)

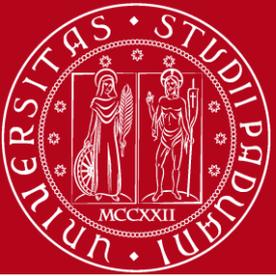
$$W(s) = \frac{\bar{G}(s)}{1 + \bar{G}(s)} \xrightarrow{\text{dove}} \bar{G}(s) = kG(s) = K_p \frac{n(s)}{d(s)} \xrightarrow{\text{FdT}} W(s) = \frac{K_p}{ms + b + K_p}$$

Per studiare la BIBO stabilità risolvo: $ms + b + K_p = 0$

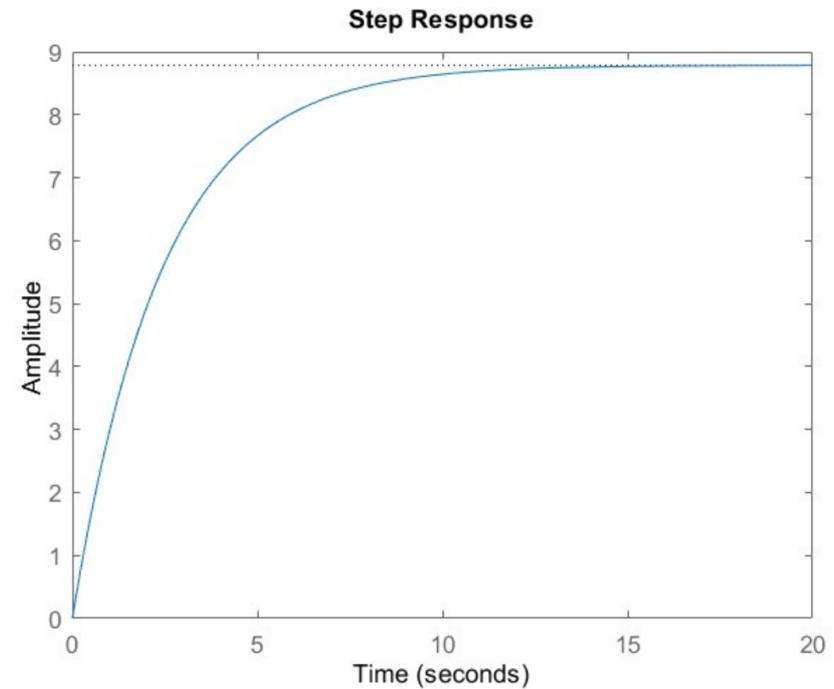
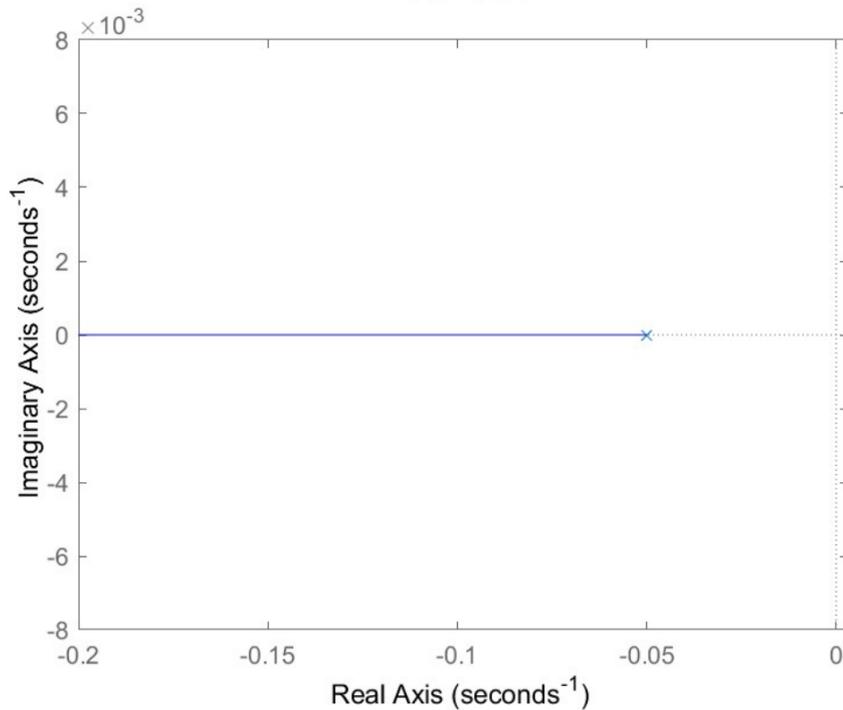
Otengo una funzione con un ramo che parte da

$$s = -\frac{b}{m} = -0,05$$

e tende a $+\infty$ in direzione π . Risulta BIBO stabile per ogni K_p positivo



Luogo delle Radici (2)



$$K_p = 361.9441$$

Modificando il valore di K_p si arriva a soddisfare le specifiche avendo però un sistema che richiede un'accelerazione troppo elevata

1	RiseTime:	5.3333
2	TransientTime:	9.4966
3	SettlingTime:	9.4966
4	SettlingMin:	7.9472
5	SettlingMax:	8.7804
6	Overshoot:	0
7	Undershoot:	0
8	Peak:	8.7804
9	PeakTime:	17.7748



Controllori PID

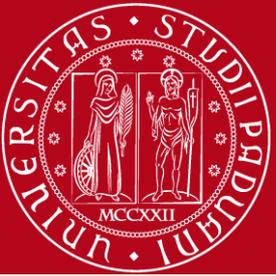
Un controllore PID agisce sul segnale attraverso la combinazione di tre azioni

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \longrightarrow C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s}$$

Nel caso di controllore proporzionale $C=K_p$, ottengo

$$W(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G(s)C(s)}{1 + G(s)C(s)} = \frac{K_p}{ms + b + K_p}$$

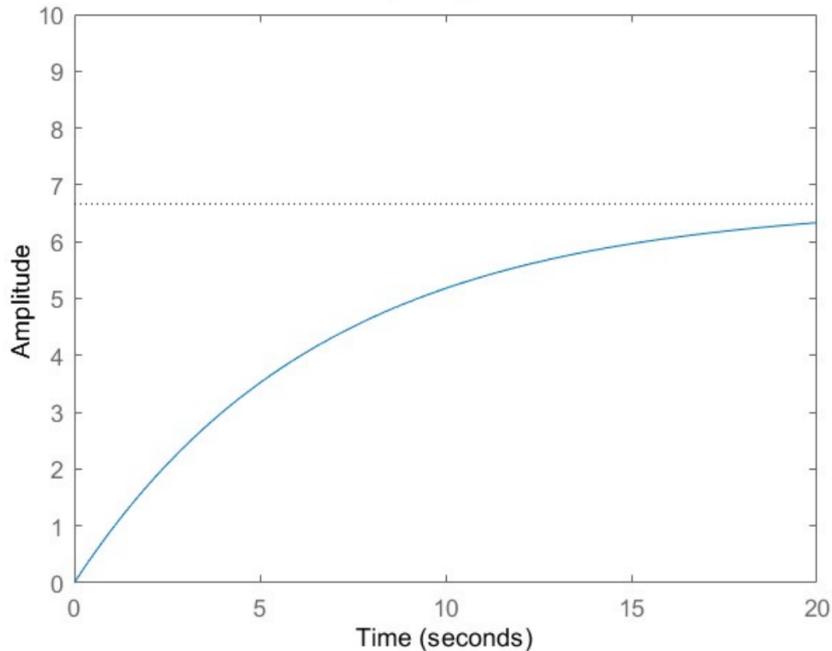
```
14 s = tf('s');
15 FdT = 1/(m*s+b); %Funzione di Trasferimento
16
17 Kp = 100; %si puo' cambiare per incrementare il
18 %tempo di risposta ma deve rimanere
19 % sensato in base al modello fisico
20 C = pid(Kp);
21
22 T = feedback(C*SS_cc, 1); %Funzione di trasferimento
23 %in catena chiusa
24
25 t = 0:0.1:20;
26 step(r*T, t); %risposta al gradino
27 axis([0 20 0 10]);
```



Controllori PID (P)

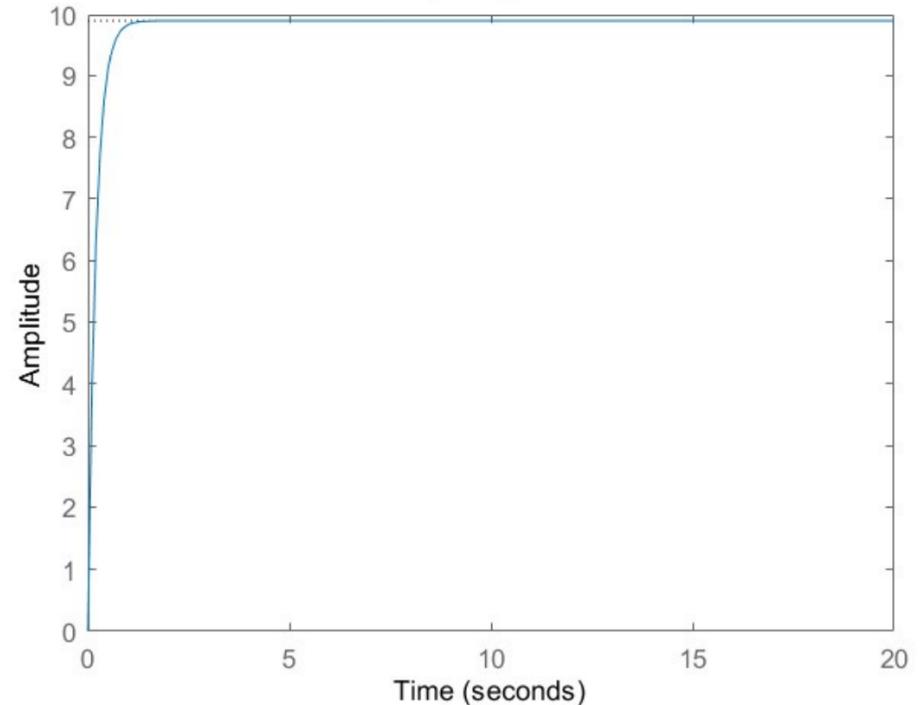
$$K_p = 100$$

Step Response



$$K_p = 5000$$

Step Response



Modificando il valore di K_p si arriva a soddisfare le specifiche avendo però un sistema che richiede un'accelerazione troppo elevata

1	RiseTime: 0.4351
2	TransientTime: 0.7747
3	SettlingTime: 0.7747
4	SettlingMin: 8.9555
5	SettlingMax: 9.8944
6	Overshoot: 0
7	Undershoot: 0
8	Peak: 9.8944
9	PeakTime: 1.4499

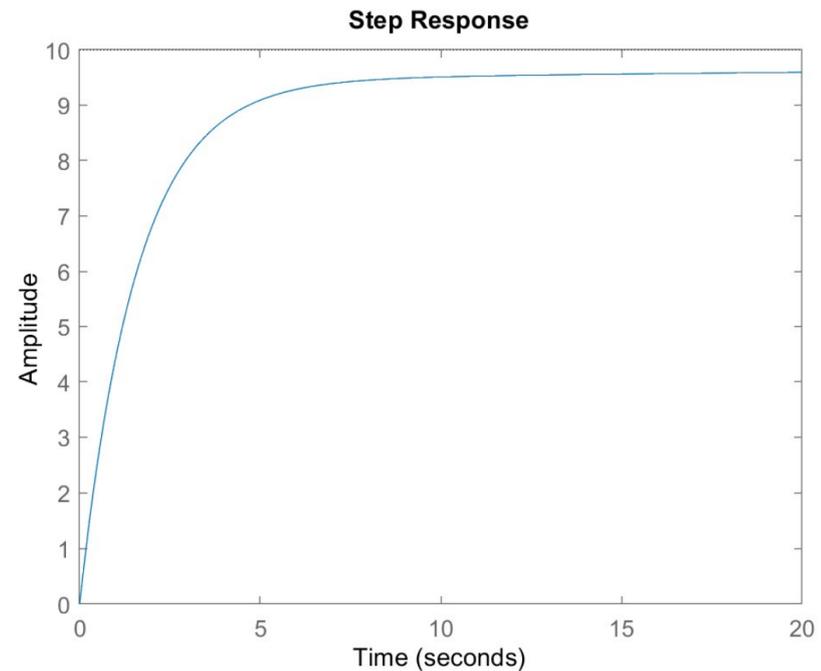


Controllori PID (PI)

Nel caso di un controllore proporzionale integrativo ottengo

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \longrightarrow W(s) = \frac{K_p s + K_i}{m s^2 + (b + K_p) s + K_i}$$

```
1 Kp = 600;  
2 Ki = 10;  
3 C = pid(Kp, Ki);  
4  
5 T = feedback(C*SS_cc, 1);  
6 t = 0:0.1:20;  
7  
8 step(r*T, t);  
9 axis([0 20 0 10]);
```

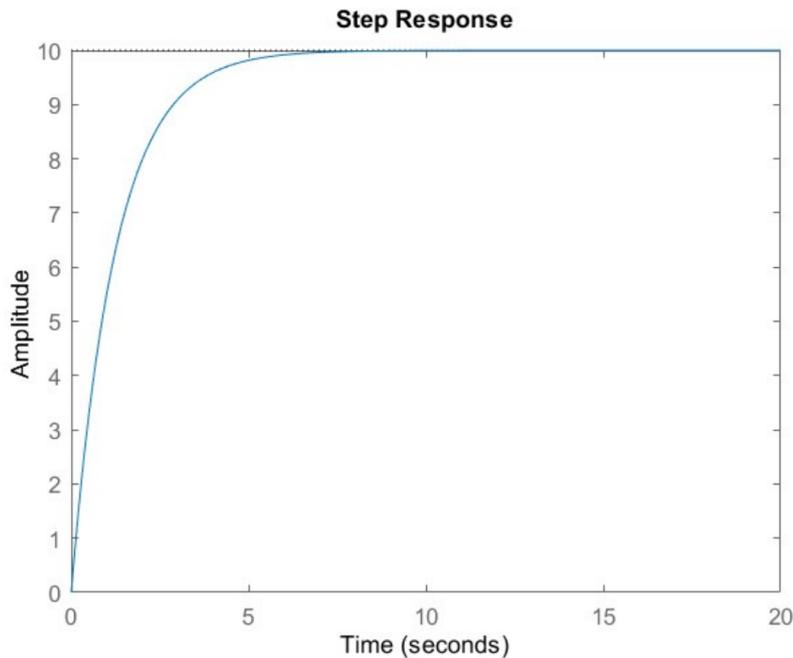




Controllore PID (PI)

$$K_p = 800$$

$$K_i = 40$$



1	RiseTime: 2.7463
2	TransientTime: 4.8901
3	SettlingTime: 4.8901
4	SettlingMin: 9.0450
5	SettlingMax: 9.9997
6	Overshoot: 0
7	Undershoot: 0
8	Peak: 9.9997
9	PeakTime: 13.1823

Soluzione che soddisfa i requisiti.

Un K_i elevato rischia di portare troppa sovraelongazione

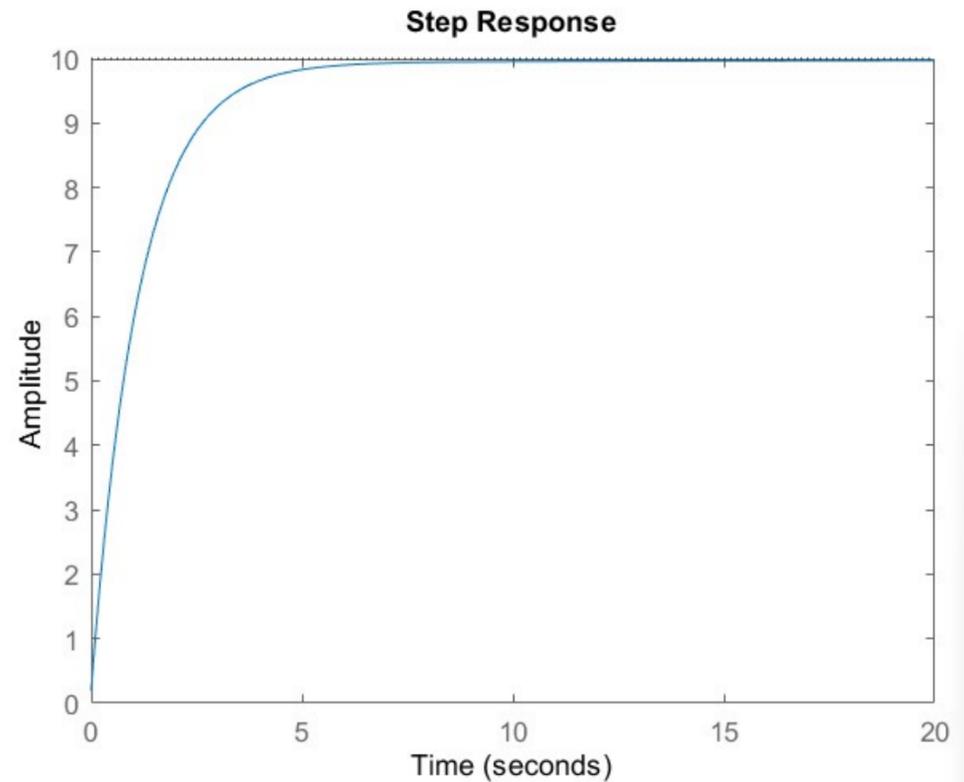


Controllo PID

Implementando anche il guadagno derivativo ottengo

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad \longrightarrow \quad W(s) = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_i}{(m + K_d) s^2 + (b + K_p) s + K_i}$$

```
13 s = tf('s');  
14 FdT = 1/(m*s+b);    %Funzione di Trasferimento  
15  
16 Kp = 900;  
17 Ki = 40;  
18 Kd = 20;  
19  
20 C = pid(Kp, Ki, Kd);    %codice Matlab per generare  
    controllore PID  
21  
22 T = feedback(C*SS_cc, 1);  
23 t = 0:0.1:20;  
24  
25 step(r*T, t);  
26 axis([0 20 0 10]);  
27  
28 stepinfo(r*T)
```





Analisi in frequenza (1)

Si può effettuare l'analisi considerando la risposta in frequenza del sistema

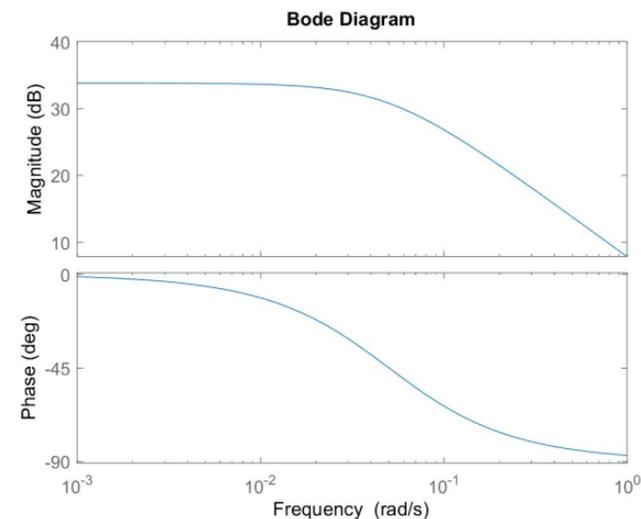
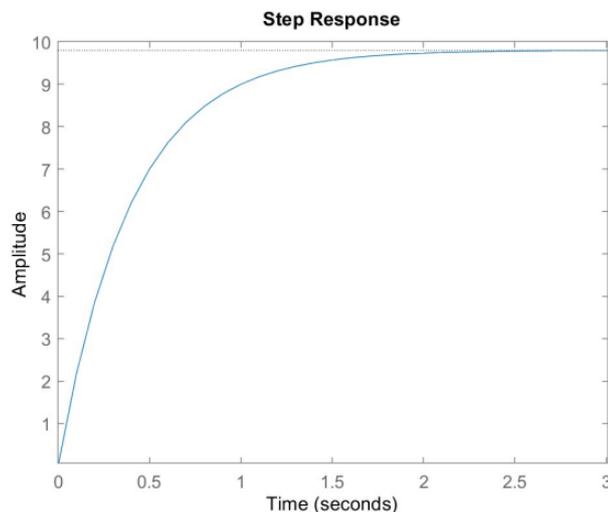
$$W(j\omega) : [0, +\infty) \rightarrow \mathbb{C}$$

Si considera il sistema in catena chiusa con $K_p = 0,02 = -34\text{dB}$

$$e_r = \frac{1}{1 + K_B(G)} 100\% \longrightarrow \frac{1}{1 + K_B(G)} < 0,02 \text{ da cui } K_B(G) > 49 = 33,8\text{dB}$$

Ottenendo di dover alzare il modulo di $|33,8 - (-34)|_{\text{dB}} = 67,8\text{dB}$

Avendo quindi un guadagno $K_p = 2455$





Analisi in frequenza (2)

Posso introdurre una rete ritardatrice con controllore proporzionale

$$C(s) = \frac{1}{\alpha} \frac{1 + \alpha T s}{1 + T s} \quad \text{con } 0 < \alpha < 1 \quad \text{e } T > 0$$

dove

$$e_r = 2\% \quad \rightarrow \quad K_B(W) > 49 = 33,8 \text{ dB} \quad \rightarrow \quad \alpha = 10^{\frac{-|33,8 \text{ dB}|}{20}} = 0,02$$

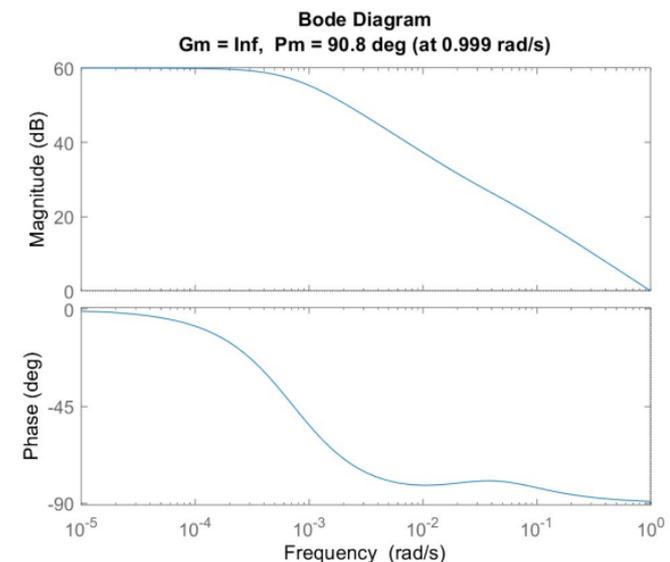
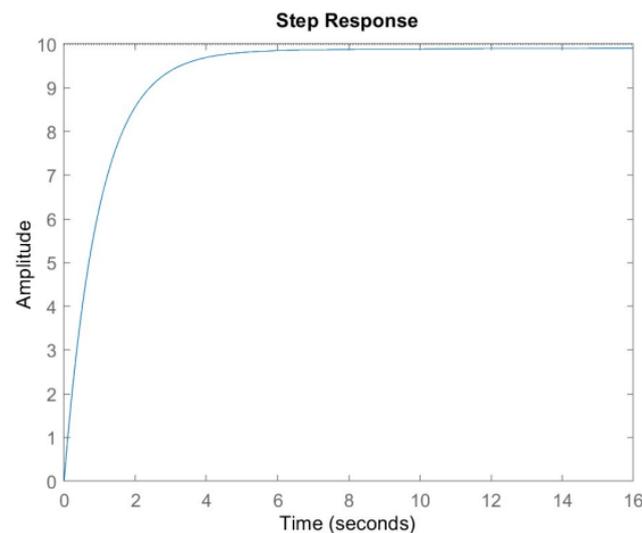
$$T_r \leq 5 \text{ s} \quad \rightarrow \quad B_\omega \geq \frac{1,8}{T_r} = 0,36 \text{ rad/s} \quad \rightarrow \quad T = \frac{10}{\alpha B_\omega} = 1389$$

$$\zeta \geq 0,6 \quad \rightarrow \quad PM = 100\zeta = 60^\circ$$

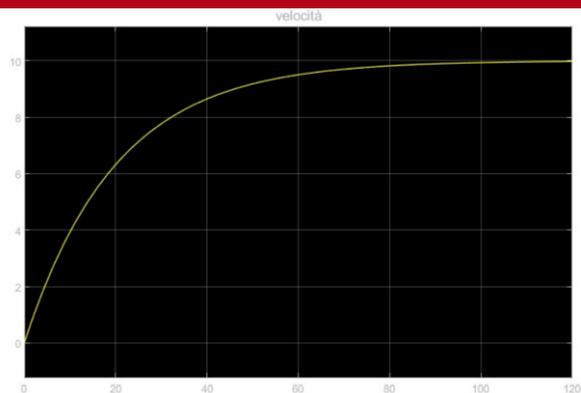
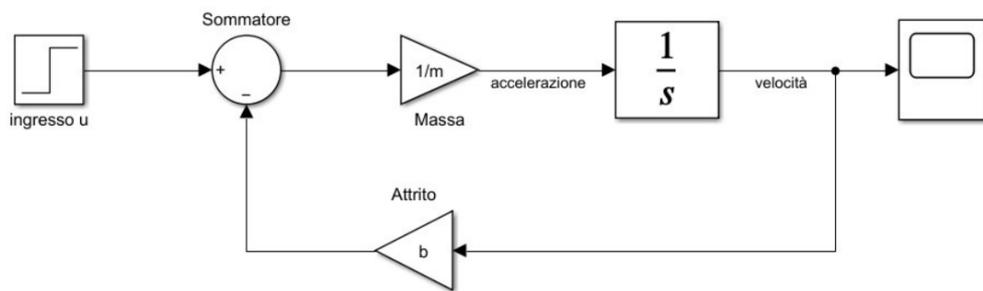
```

7 s = tf('s');
8 FdT = 1/(m*s+b);    %Funzione di Trasferimento
9
10 Lag = (1/a)*(1+a*T*s)/(1+T*s);
11
12 scc= feedback(Kp*FdT*Lag,1);
13 step(r*scc);
14 margin(Kp*FdT*Lag);

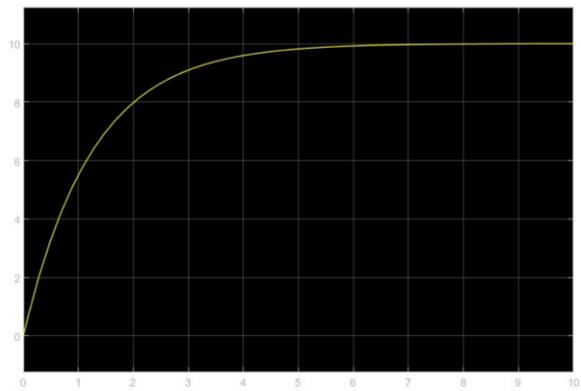
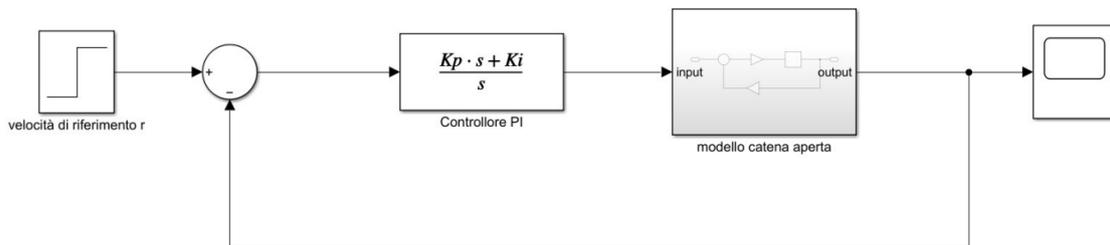
```



Catena aperta

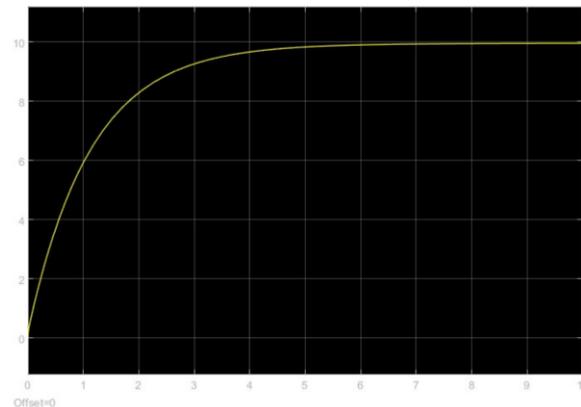
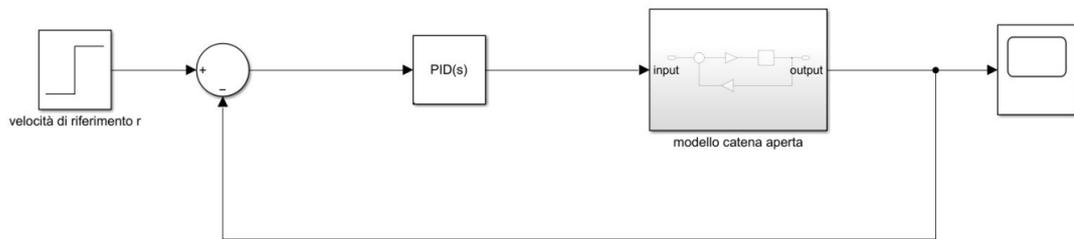


PI



Offset=0

PID



Offset=0



Per la progettazione sono stati usati 3 metodi differenti:

- Luogo delle radici con controllore proporzionale
- Controllori di tipo P, PI e PID
- Analisi in frequenza con controllore proporzionale e rete ritardatrice



Controllore PI

- Errore a regime nullo
- Non ha sovraelongazione
- Semplicità realizzativa