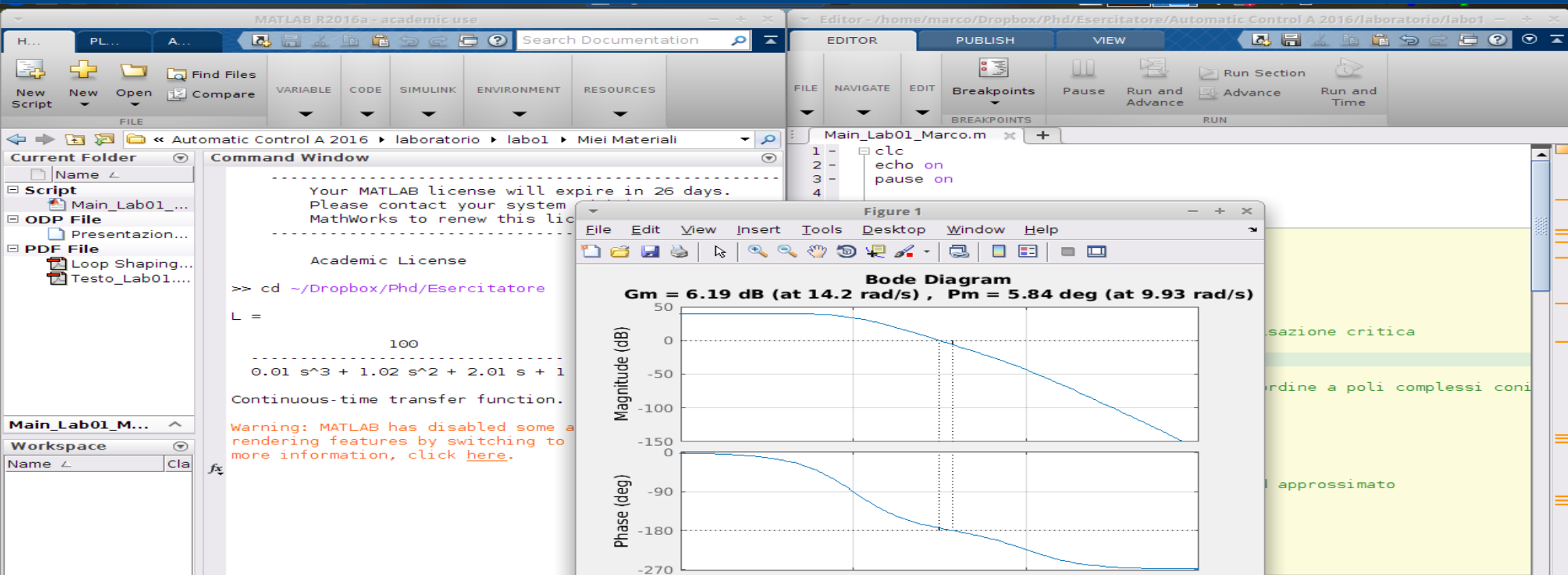


# Fondamenti di Automatica (per Aerospaziali)

Corso di laurea in ing. aerospaziale  
Prof. L. Bascetta



## Laboratorio 3: “Introduzione all’uso di SIMULINK”

**Marco Baur** ([marco.baur@polimi.it](mailto:marco.baur@polimi.it))


PhD Student in Information Technology, DEIB, Politecnico di Milano

Mathworks Matlab<sup>®</sup>:

- **Control System Toolbox**
- **Simulink**



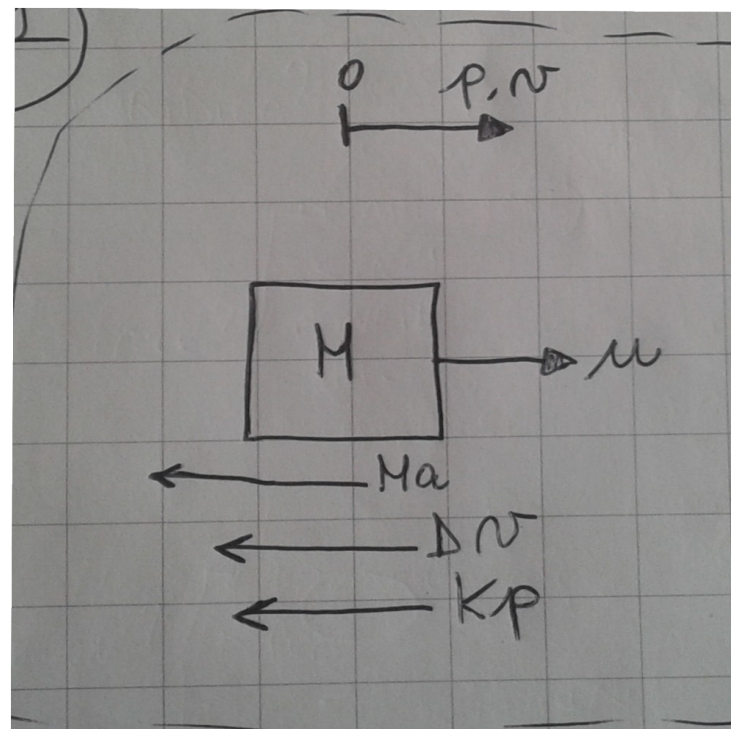
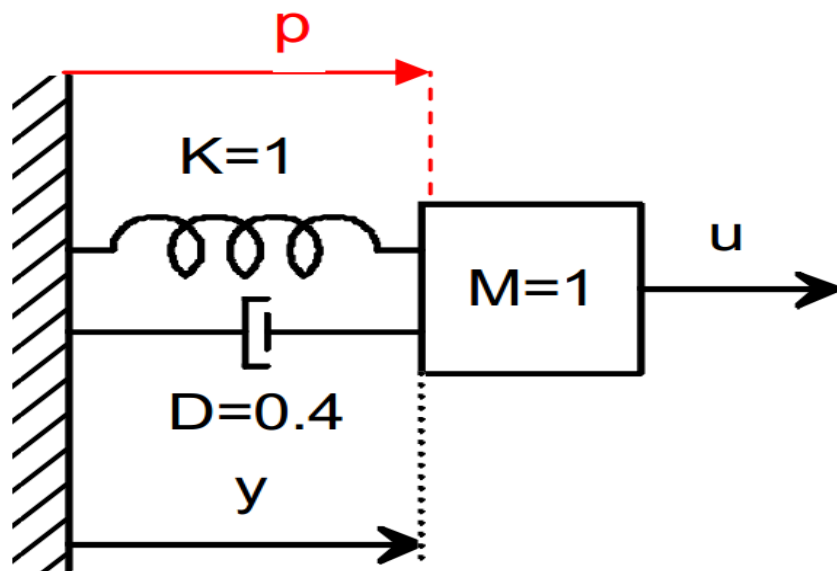
Una delle migliori caratteristiche di Matlab è la documentazione di supporto ...



Quando non sapete o la sintassi o la funzione di un comando, digitate  
**help nome comando**  
o **doc nome comando** per una spiegazione più dettagliata  
(Ex: `help bode`, `doc damp`)

# Esercizio 1

# Equazione di moto



FBD  
(Free  
Body  
Diagram)

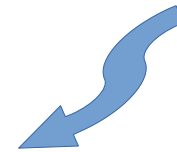
2° Legge della  
dinamica

$$Ma(t) = \sum F(t)$$

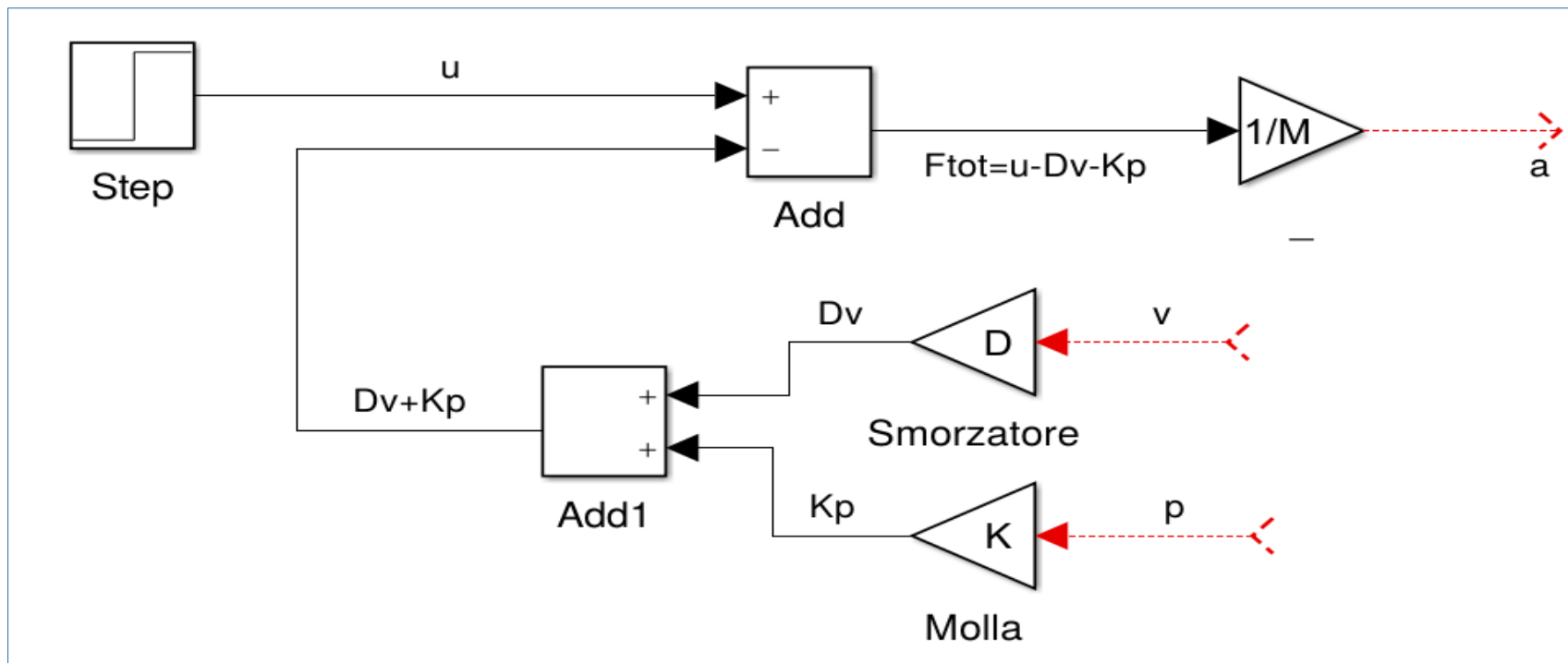
$$Ma(t) = u - Dv(t) - Kp(t)$$

# Costruzione del termine a destra dell'uguale

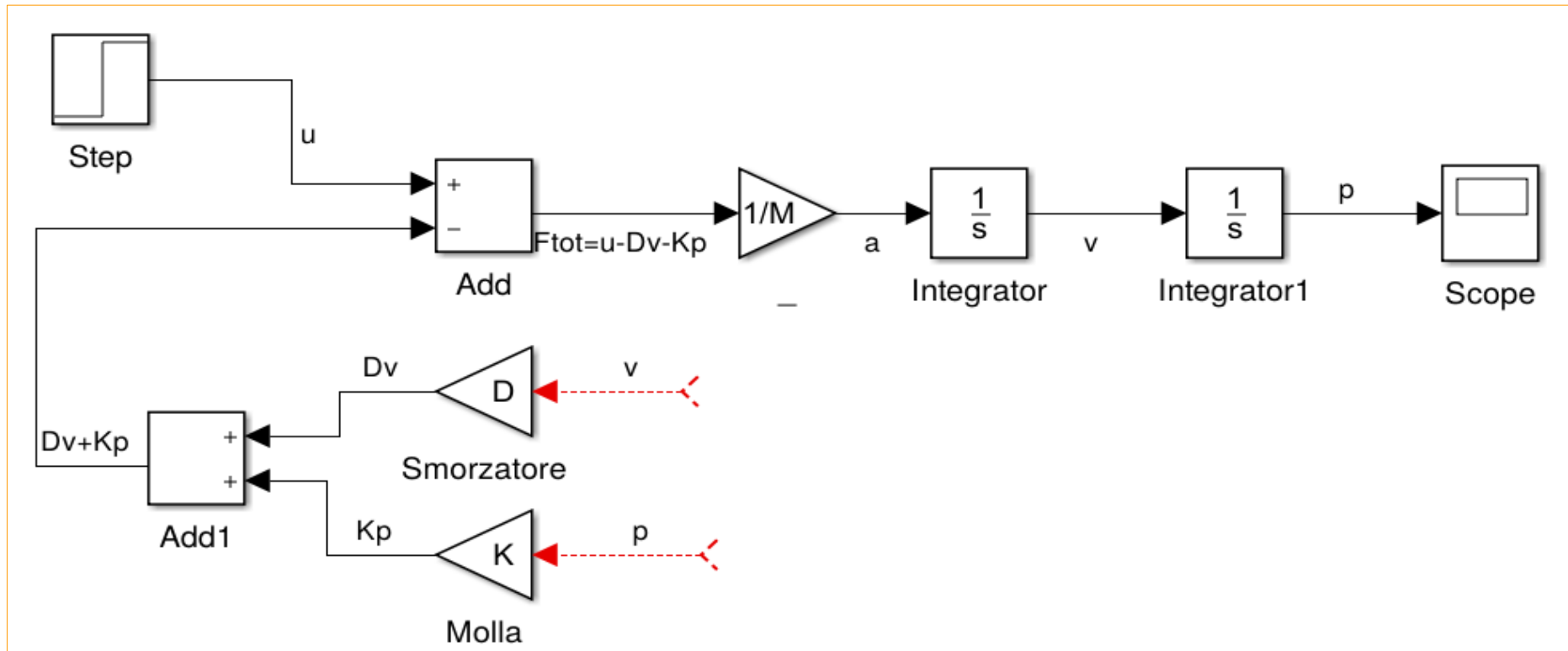
$$\ddot{p}(t) = a(t) = (u - Dv(t) - Kp(t)) \frac{1}{M}$$



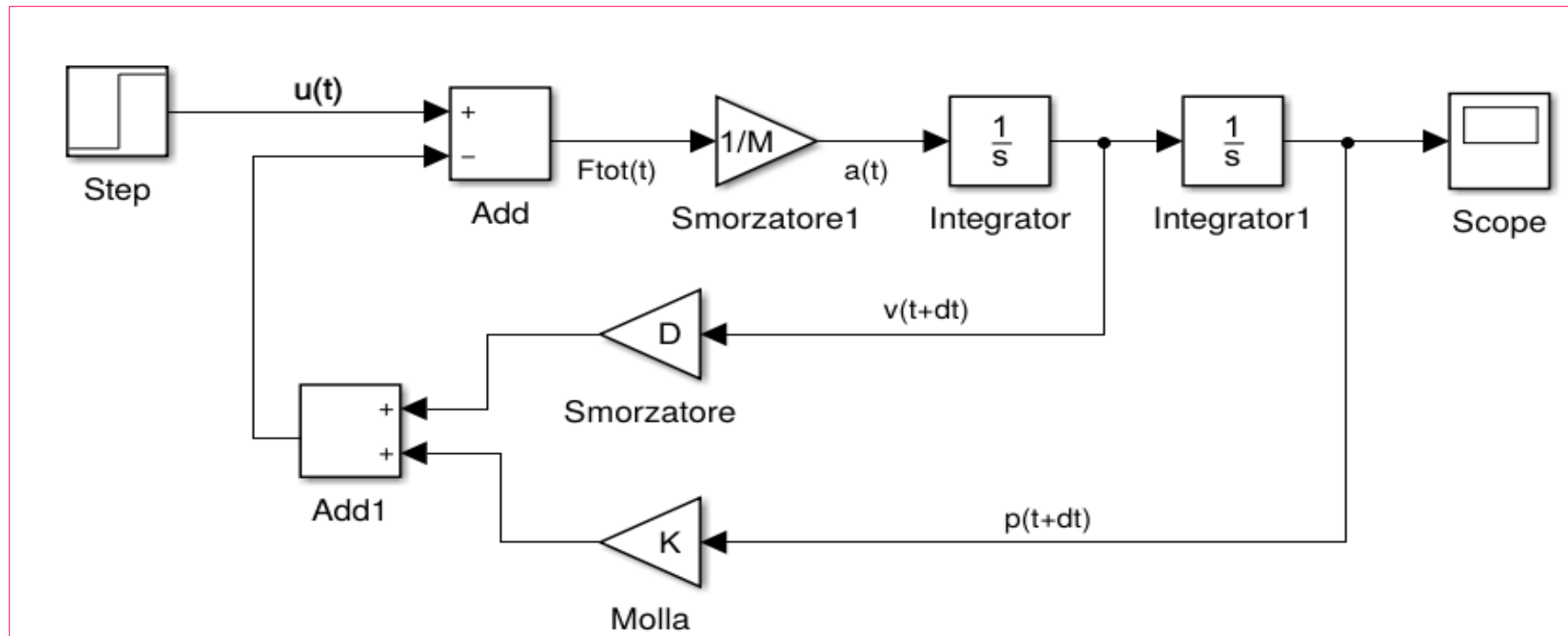
Ho  
“costruito” il  
termine a  
destra  
dell'uguale  
cioè ho  
calcolato la  
derivata  
seconda di  
 $p(t)$



# Integrazione



# Schema Completo



Uso velocità e posizione appena calcolate per calcolare l'accelerazione all'istante di tempo successivo...



# Equazioni di stato e FdT

$$x_1 = p$$

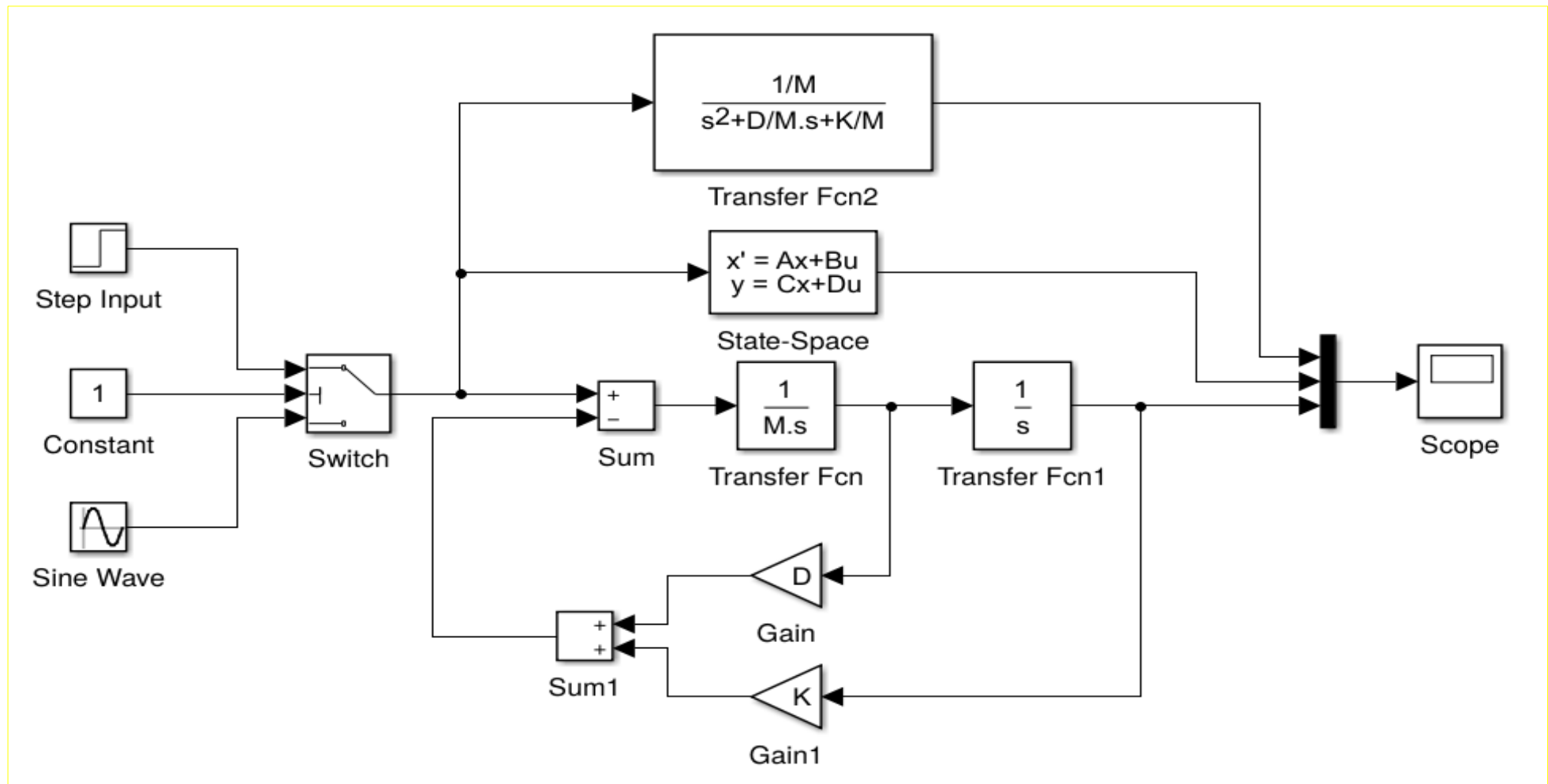
$$x_2 = v$$

Dato che questo sistema dinamico è lineare, il suo comportamento dinamico può anche essere modellato in simulink tramite un unico blocco State Space o Transfer Function

$$\begin{cases} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -\frac{K}{M}x_1 - \frac{D}{M}x_2 + \frac{1}{M}u \\ y &= x_1 \end{cases}$$

$$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{1}{Ms^2 + Ds + K} = \frac{\frac{1}{M}}{s^2 + \frac{D}{M}s + \frac{K}{M}}$$

# Schema completo con blocchi TF e StateSpace



Ovviamente il risultato ottenuto dalla simulazione è lo stesso...

# Interfacciamento di Simulink con workspace Matlab

Ricordatevi di definire nel workspace (cioè in Matlab) le variabili che avete utilizzato nei blocchi di simulink

```
%% ESERCIZIO 1

%Definizione dei parametri del sistema
M=1;
K=1;
D=0.4;

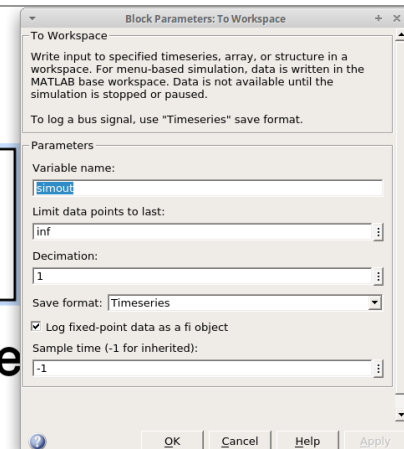
%Definisco matrici rappresentazione spazio di stato
A=[0 1;
   -K/M -D/M];
B=[0;
   1/M];
C=[1 0];

%Definisco num e den della FdT
num=[1/M];
den=[1 D/M K/M];
```

Per salvare una variabile Simulink nel workspace matlab usare blocco “To Workspace” (libreria “sinks”)

➤ **simout**

To Workspace



# Procedura Generale costruzione modello simulink

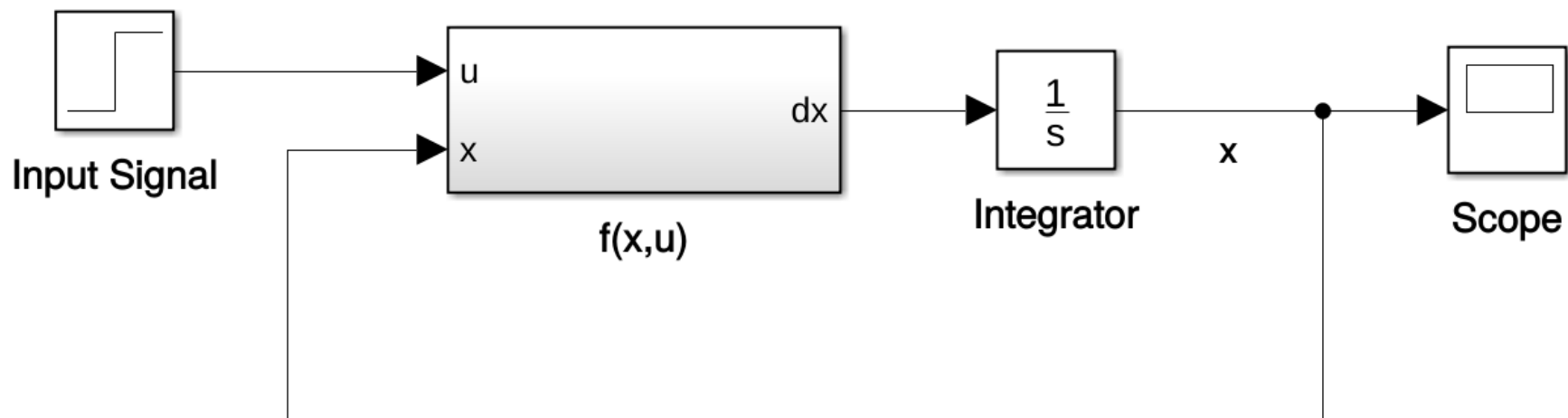
1) Ricavo le equazioni di stato del sistema dinamico

$$\dot{x} = f(x, u)$$

2) Costruisco  $f(x, u)$  tramite blocchi simulink

3) Uso blocco *integrator* per calcolare lo stato  $x$

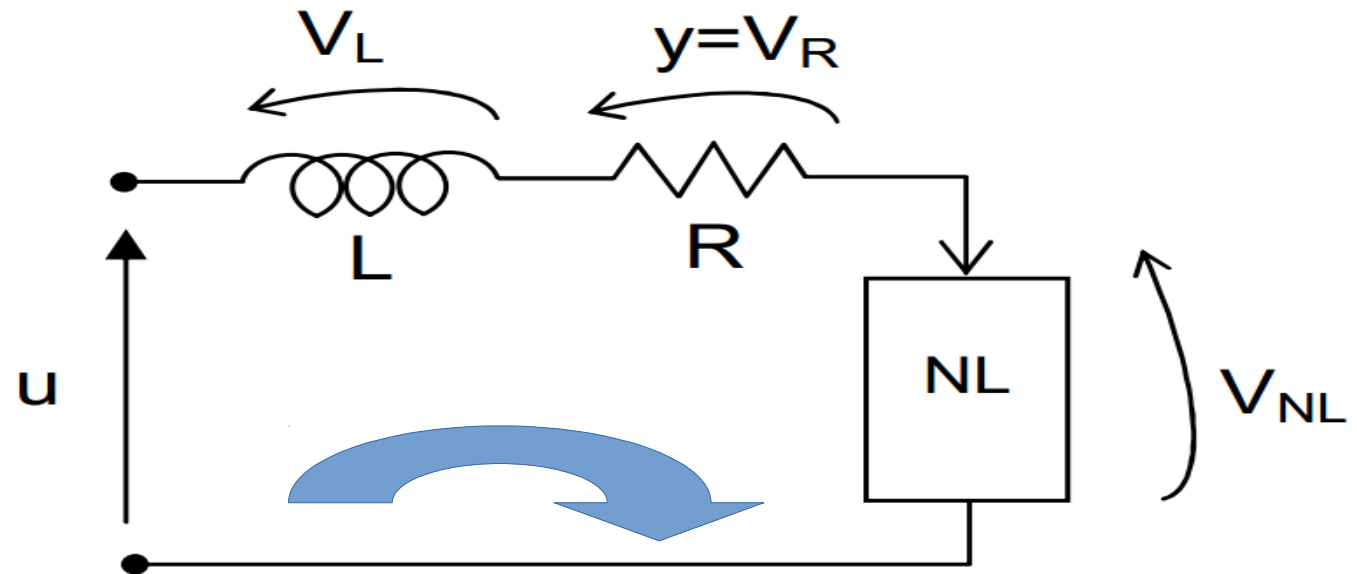
4) Lo stato  $x$  viene a sua volta utilizzato per calcolare nuovamente  $f(x, u)$



# Esercizio 2

## Es 2: equazioni di stato

Equazione di  
Kirchoff alla  
maglia



$$u - L\dot{i} - Ri - i^2 = 0$$

$$\begin{cases} L\dot{i} = u - Ri - i^2 \\ y = Ri \end{cases}$$

Equazione di Stato

Trasformazione d'uscita

# Linearizzazione

$$\begin{cases} L\dot{\delta i} = (-R - 2\bar{i})\delta i + \delta u \\ \delta y = R\delta i \end{cases}$$

$$\bar{u} = \bar{\dot{i}} = 0$$

$$\begin{cases} L\dot{\delta i} = -R\delta i + \delta u \\ \delta y = R\delta i \end{cases}$$

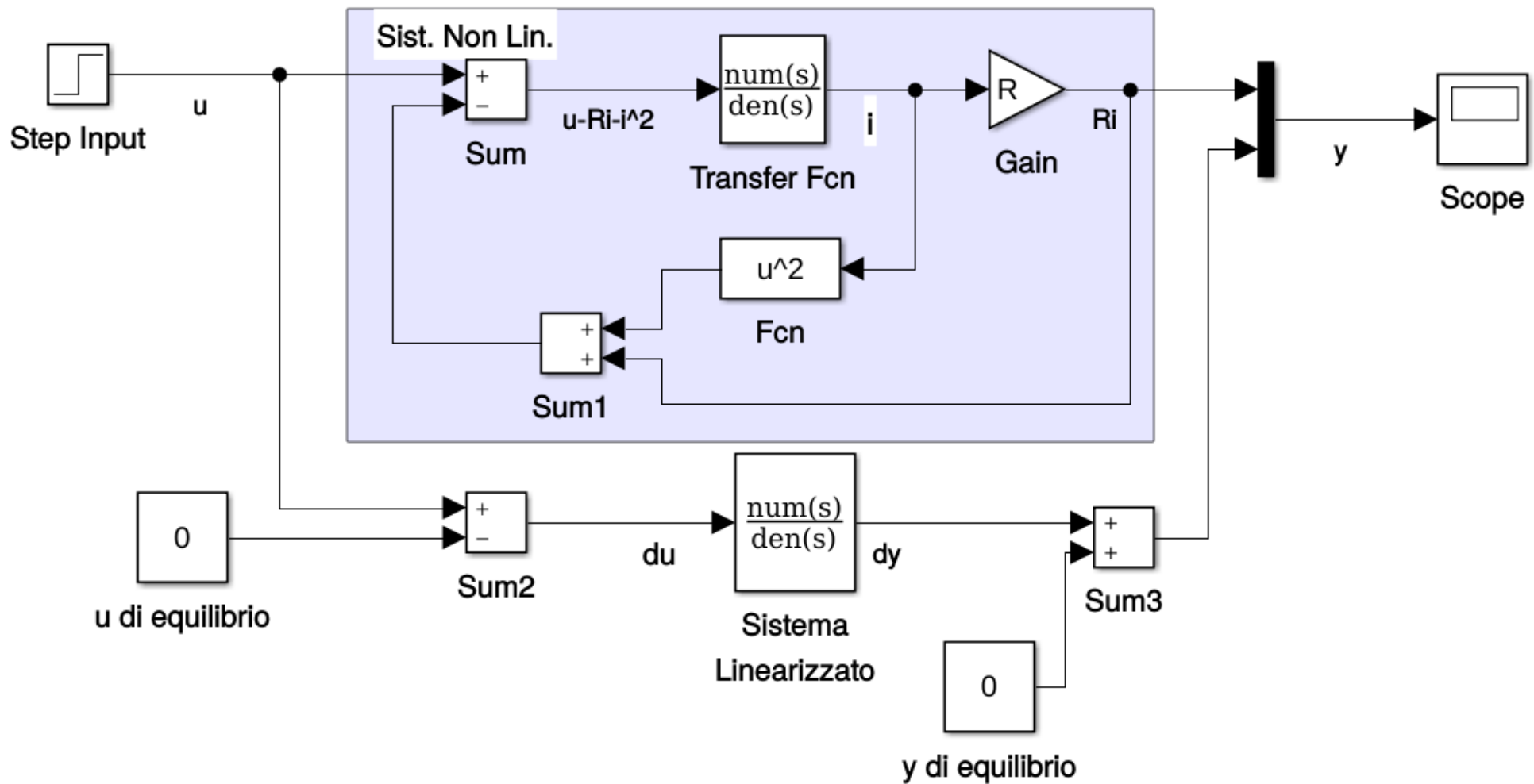
Sistema  
Linearizzato  
attorno allo  
stato di  
equilibrio

$$G(s) = \frac{\delta y(s)}{\delta u(s)} = \frac{R}{Ls + R} = \frac{1}{1 + \tau s}$$

$$\text{Con } \tau = \frac{L}{R}$$



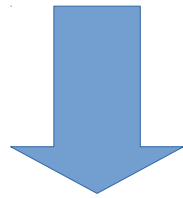
# NB: sistema nonlineare Vs sist. linearizzato



# Esercizio 3

# Precisazione al Testo

*“...si simuli la risposta allo scalino in anello chiuso e si confronti il risultato con l'andamento qualitativo della risposta stessa ottenibile dall'analisi della pulsazione critica e del margine di fase”*



Significa che dovete confrontare la risposta del sistema “originale” e del sistema che approssima la risposta del sistema in anello chiuso (la cui struttura  $<1^\circ$  o  $2^\circ$  ordine> dipende dal margine di fase del sist. Orig.)

NOTA:  
usate i  
comandi  
Matlab  
*margin* e  
*feedback*  
(vedere  
l'help)

# Risposta qualitativa sistema in anello chiuso

$$L(s) = \frac{100}{(1+s)^2(1+0.01s)} \quad \begin{array}{l} \mu = 100 \\ p_1 = p_2 = 1 \\ p_3 = 100 \end{array}$$

Comando **Matlab**: *margin(L)* 
$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_m = 5,84deg \\ \omega_c = 9,93 \frac{rad}{s} \end{array} \right.$$

...per il criterio di Bode il sistema retroazionato è  
asintoticamente stabile

# Risposta qualitativa sistema in anello chiuso

$$\varphi_m < 60 \text{ deg} \rightarrow F(s) \simeq \mu_F \frac{\omega_c^2}{s^2 + 2\xi\omega_c s + \omega_c^2}$$

$$\xi \simeq \sin\left(\frac{\varphi_m}{2}\right) \simeq \frac{\varphi_m [\text{deg}]}{100}$$

$$\mu_F = \frac{\mu}{1 + \mu}$$

Se non ho integratore  
nella  $L(s)$ , altrimenti 1