

Tecniche di Controllo e Diagnosi

Cenni su Matlab (e toolbox Control Systems)

Dott. Ingg. Marcello Bonfè e Silvio Simani

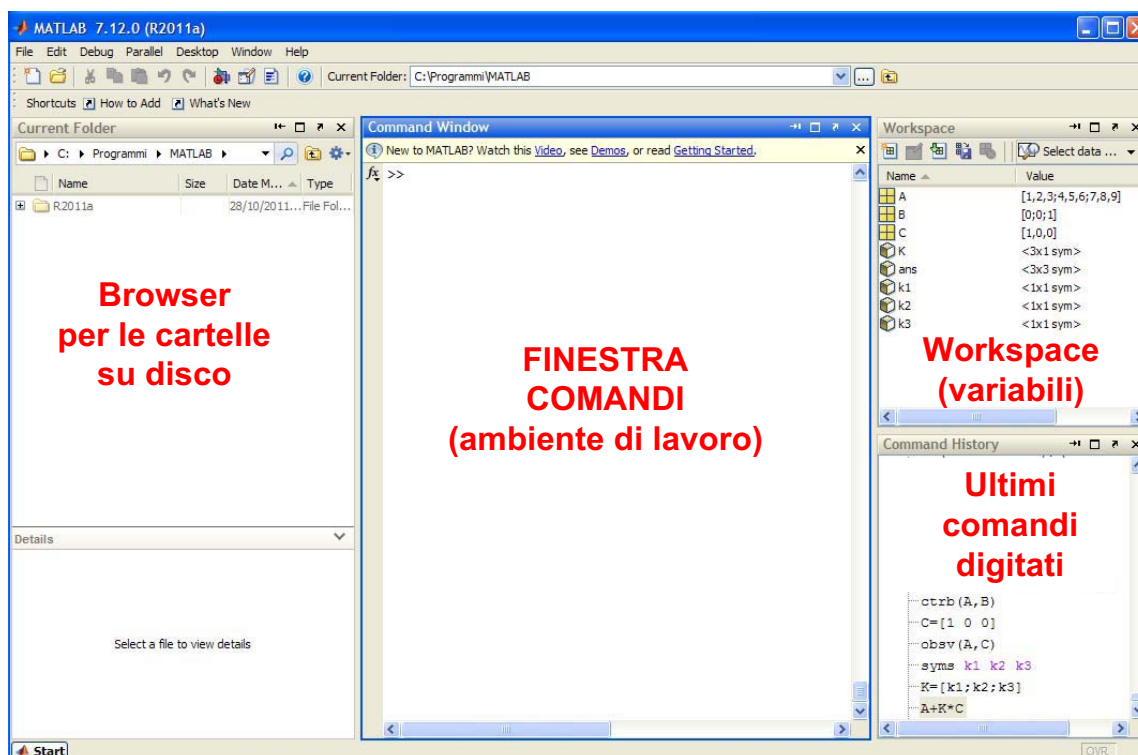
Dipartimento di Ingegneria - Università di Ferrara

Tel. +39 0532 974839 / 974844

E-mail: marcello.bonfe@unife.it / silvio.simani@unife.it

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

Matlab: interfaccia principale



Matlab: definizione di variabili, vettori e matrici

Definire variabile scalare

```
>> x = 3
```

Definire vettore riga (1×3)

```
>> x = [1 2 3]
```

Idem, ma senza echo dell'output

```
>> x = [1 2 3];
```

Definire vettore colonna (3×1)

```
>> x = [1; 2; 3]
```

(oppure >> x = [1 2 3]')

Definire matrice 3×4

```
>> A = [1 2 3 4; 5 6 7 8; 9 10 11 12]
```

Accedere / modificare elemento di riga 2 e colonna 1

```
>> A(2,1) = 0
```

3

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

Matlab: operazioni su matrici

- Le "solite" operazioni matematiche: +, -, *, /, ^
- **Es.** >> A^3 (potenza di matrice, solo se quadrata!)
- Precedute dal punto, sono eseguite elemento per elemento anziché in senso matriciale/vettoriale
- Operazioni specifiche per matrici / vettori:
 - Trasposta: **A'**
 - Determinante: **det(A)**
 - Inversa: **inv(A)**
 - Autovalori: **eig(A)**
 - Rango: **rank(A)**
 - Polinomio caratteristico: **poly(A)**
 - Esponenziale di matrice: **expm(A)**
 - Radici di un polinomio: **roots(x)** (x vettore dei coeff.)

4

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

Matlab: test di Controllabilità / Osservabilità

► Grazie al Control Systems Toolbox, il test è eseguibile semplicemente lanciando i comandi:

```
>> P=ctrb(A,B)
```

per il test di controllabilità, e:

```
>> Q=obsv(A,C)
```

per il test di osservabilità

Matlab: test di Controllabilità / Osservabilità

► In Matlab:

```
>> A=[0 0 0 0 -1; 0 -3 1 0 2; 2 0 1 0 0; -1 0 0 1 1; 0 0 0 0 2]
```

```
>> B=[1; 0; 1; -1; 1]
```

```
>> C=[0 0 -1 0 0]
```

```
>> Q=obsv(A,C)
```

```
Q =
```

0	0	-1	0	0
-2	0	-1	0	0
-2	0	-1	0	2
-2	0	-1	0	6
-2	0	-1	0	14

```
>> Qt=Q'
```

NOTA: con quest'ultima operazione, la matrice di osservabilità viene posta in modo da rendere l'analisi omogenea rispetto a quella di controllabilità, in modo cioè che si debba osservare quali COLONNE risultino indipendenti.

Matlab: test di controllabilità / osservabilità

- Dall'analisi delle colonne della matrice Qt , si può vedere che solo le prime tre risultano indipendenti, pertanto la forma minima del sistema è di ordine 3 → `rank(Qt)`

7

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

Matlab: Progetto di retroazione Stato-Ingresso

- In Matlab:

```
>> A = [-6 -11 -6; 1 0 0; 0 1 0]
>> B=[1; 0; 0] % oppure B=[1 0 0]'
```

- Il progetto della retroazione uscita-ingresso richiede di determinare gli autovalori della matrice $A + B*K$, con K in questo caso di dimensione 1×3

- Con la funzione di Matlab `place` si risolve il problema dell'assegnamento degli autovalori di $A - B*K$:

```
>> K = - place(A,B, [-4 -5 -6])
>> eig(A + B*K) % Verifica
```

8

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

Matlab: Progetto dell'Osservatore dello Stato



► In Matlab:

```
>> A = [-6 -11 -6; 1 0 0; 0 1 0]
>> B = [1; 0; 0]
>> C = [0 0 1]
```

► Il progetto dell'osservatore dello stato richiede di determinare gli autovalori della matrice $A + L \cdot C$, con L in questo caso di dimensione 3×1

► Ancora con la funzione di Matlab **place** si risolve il problema dell'assegnamento degli autovalori di $A + L \cdot C = A + ((L \cdot C)')' = A + (C' \cdot L')' = A' + C' \cdot L'$, ovvero:

```
>> L = - place(A',C',[-8 -9 -10])'
>> eig(A + L*C) % Verifica
```

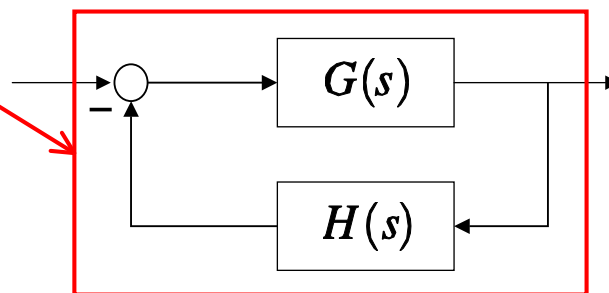
9

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

Matlab: funzioni del Control Systems Toolbox



```
>> Gc1 = feedback(G,H)
```



```
>> Gp = parallel(G1,G2) ← parallelo di FdT
```

```
>> Gs = series(G1,G2) ← serie di FdT
```

```
>> step(G) ← grafica la risposta al gradino
```

```
>> impulse(G) ← grafica la risp. impulsiva
```

10

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

CENNI SU MATLAB

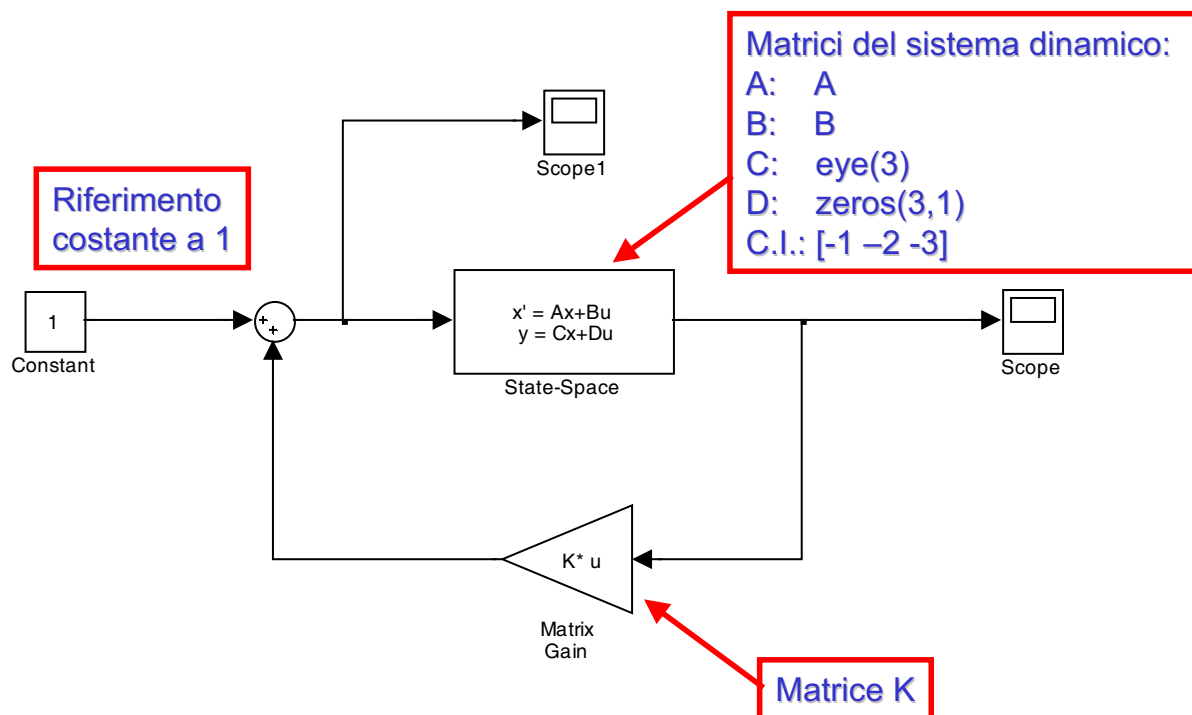
FINE

... Simulink:

11

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

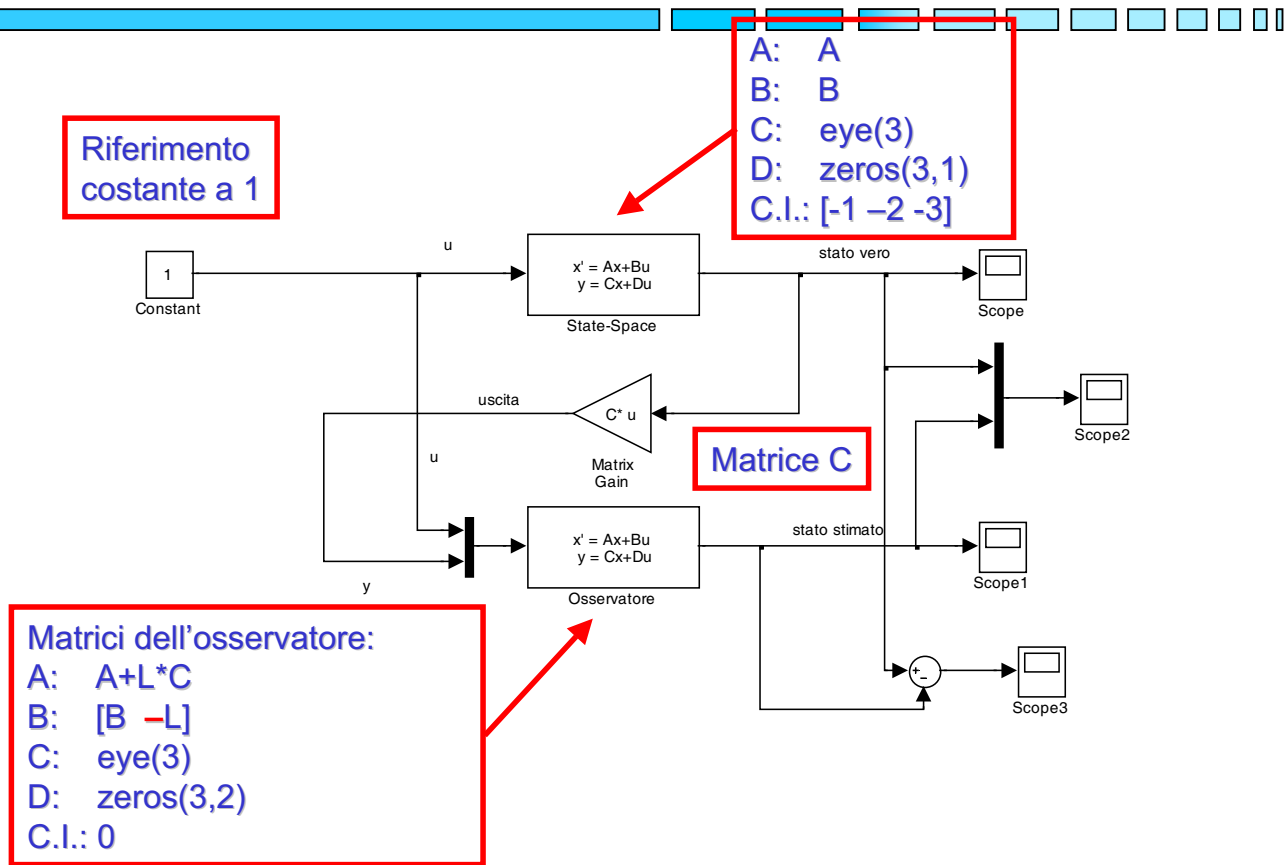
Retroazione stato-ingresso in Simulink



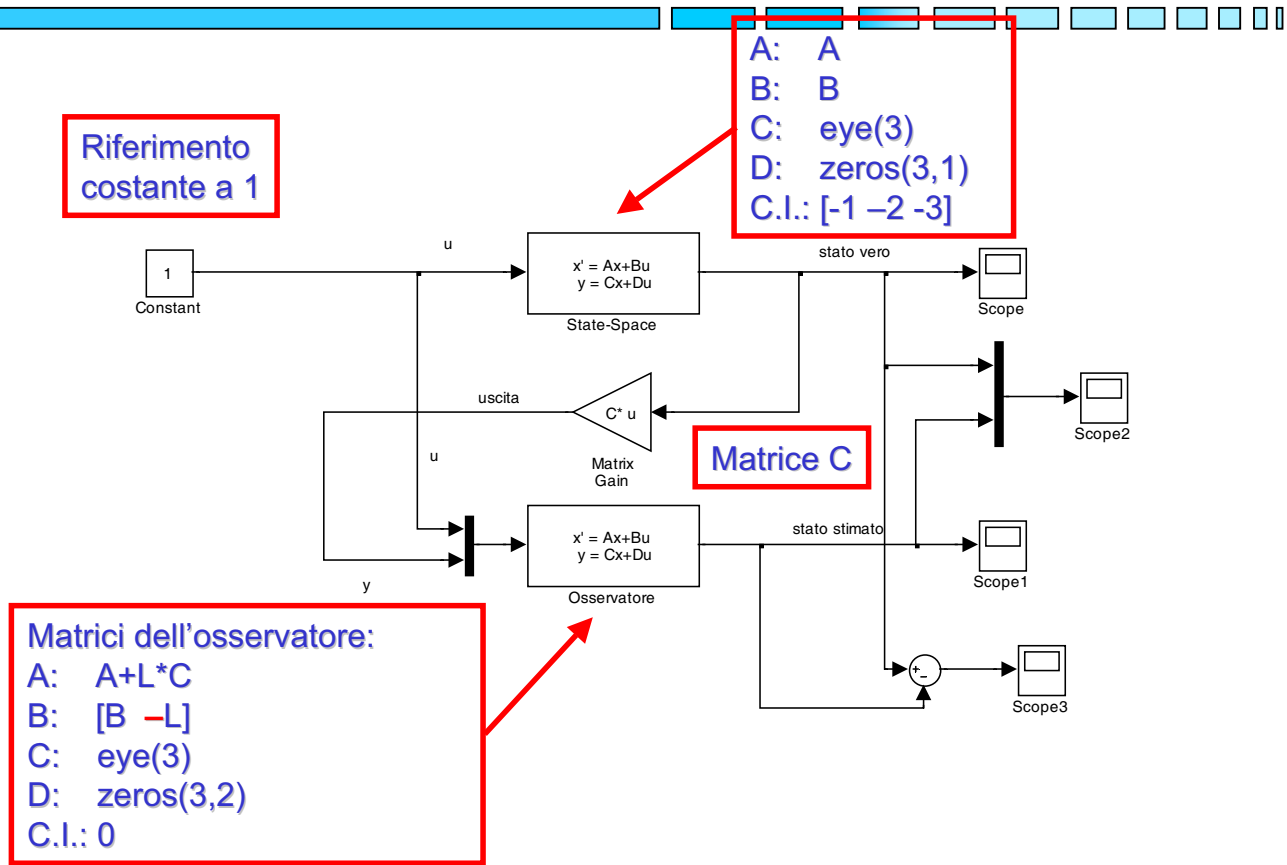
12

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

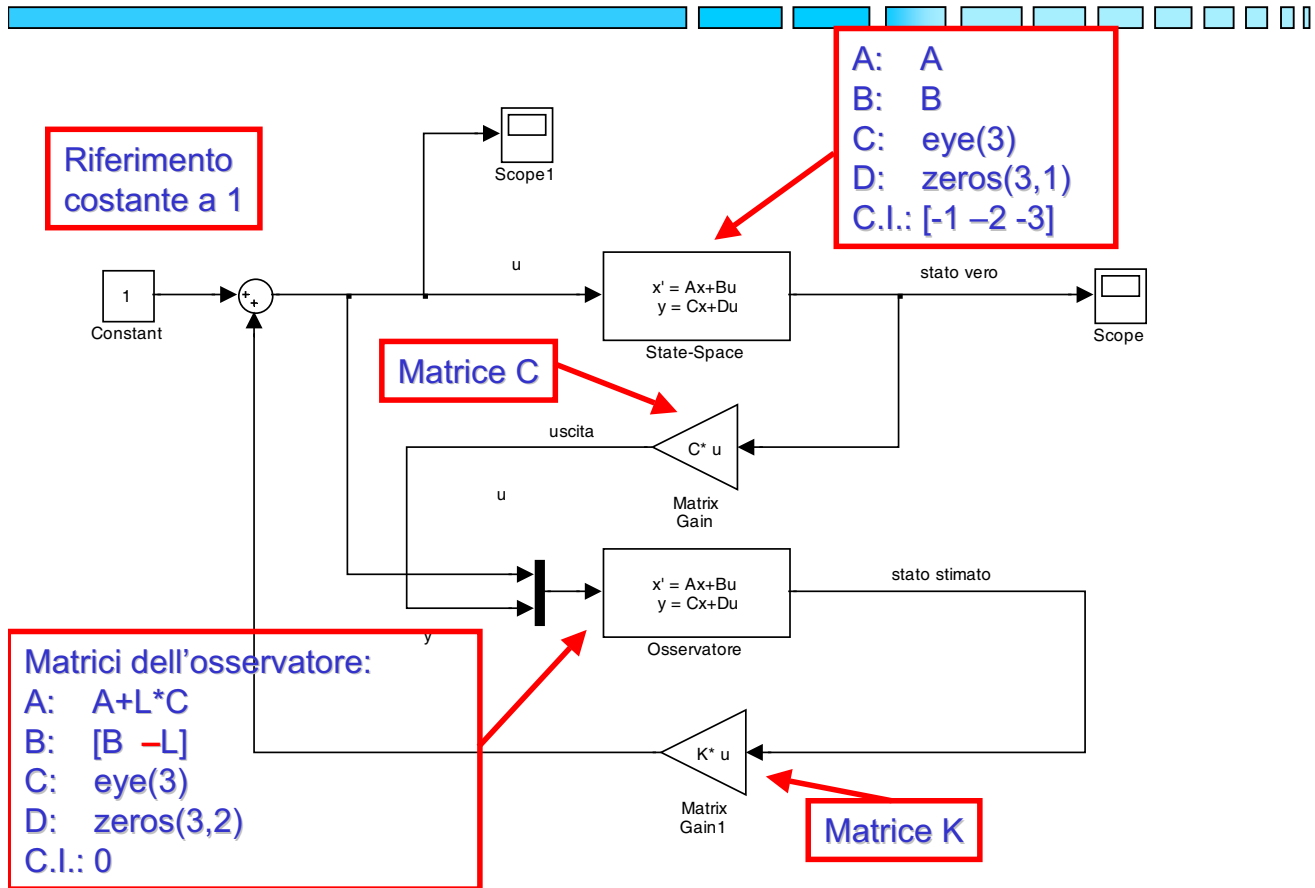
Osservatore Dinamico dello Stato in Simulink



Osservatore Dinamico dello Stato in Simulink



Osservatore Dinamico dello Stato in Simulink



CENNI SU SIMULINK

FINE

... Modello NL...

Modello Simulink per il Pendolo Inverso (1)

```
M = 1  
m = 0.1  
l = 1  
g = 9.8
```

Inizializzazione variabili

```
Fmax = 20  
Botta = 3  
PeriodoBotta = 16  
PWBotta = 1  
DelayBotta = 6
```

Parametri ingresso

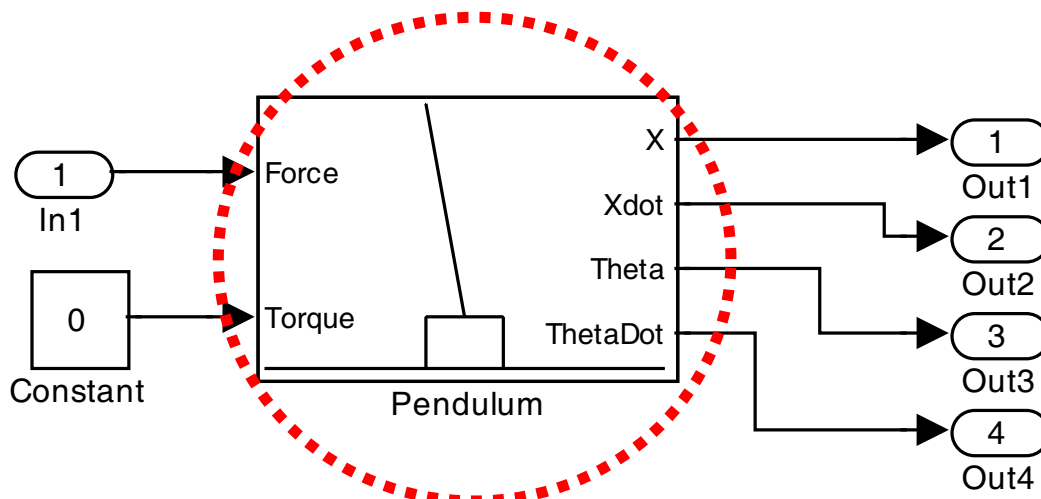
```
x0 = 0.2  
theta0 = 0.55  
StepX = 0.8  
TstepX = 15  
Tfin = 30
```

Condizioni iniziali e variabili della simulazione

17

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

Modello Simulink per il Pendolo Inverso (2)

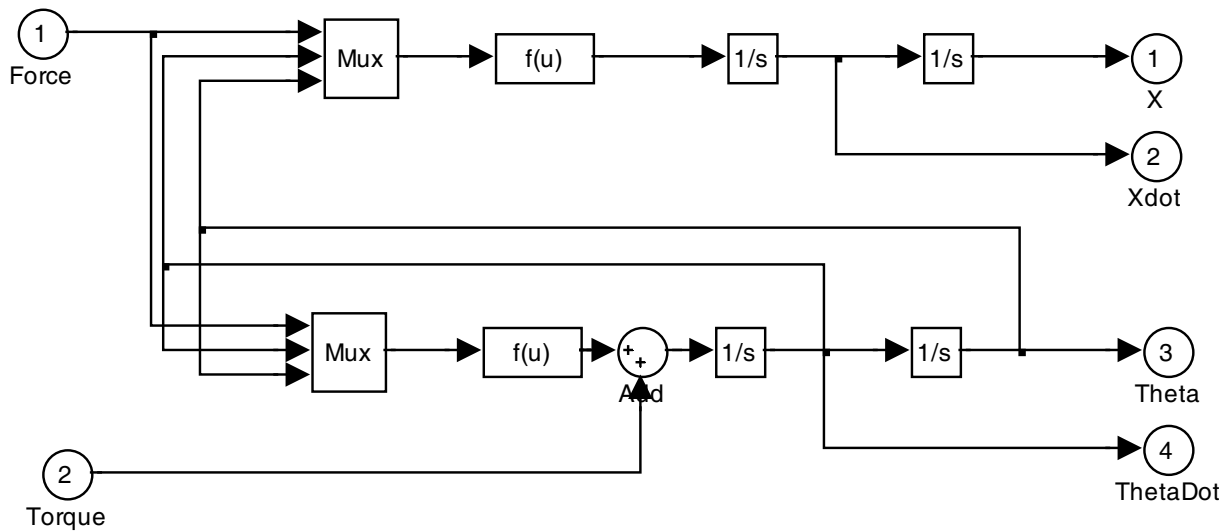


Maschera del blocco... Andare dal menù in Edit-> Look under mask...

18

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

Modello Simulink per il Pendolo Inverso (3)



Modello non lineare come schema a blocchi di Simulink

19

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab

Modello Matematico del Pendolo Inverso

$$\mathbf{x} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4]^T = [x \quad \dot{x} \quad \vartheta \quad \dot{\vartheta}]^T$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{mLx_4^2 \sin x_3 - mg \sin x_3 \cos x_3 + u}{M + m \sin^2 x_3} \\ \dot{x}_3 = x_4 \\ \dot{x}_4 = \frac{-mLx_4^2 \sin x_3 \cos x_3 + (M + m)g \sin x_3 - u \cos x_3}{(M + m \sin^2 x_3)L} \end{array} \right.$$

f(u)

20

Tecniche di Controllo e Diagnosi – Matlab