

Laboratorio (Automatica)

Silvio Simani

Dipartimento di Ingegneria

Università di Ferrara

Tel. 0532 293844

Fax. 0532 768602

E-mail: ssimani@ing.unife.it

URL: <http://www.ing.unife.it/simani>



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Organizzazione delle Lezioni



Lunedì 11:30 – 13:30, Aula 5

⇒ Richiami di Teoria e Presentazione delle Esercitazioni



Venerdì 9:30–13:30, Laboratorio di Informatica

⇒ Esercitazioni *Guidate* al Calcolatore



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Informazioni generali sul corso



Organizzazione delle lezioni

1. Informazioni generali sul corso
2. Introduzione a *Matlab*[®]
3. Simulazione di Sistemi Dinamici
4. Introduzione a *Simulink*[®]
5. Osservatori e retroazione uscita–stato–ingresso
6. Modelli approssimati di sistemi dinamici
7. L'Interprete di Funzioni di Trasferimento *TFI*
8. Progetto di Reti Correttrici
9. Progetto di Controllori PID
10. Progetto di Sistemi di Controllo Digitali



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Informazioni generali sul corso



Modalità d'esame



Esercizi assegnati ad ogni lezione

⇒ Risoluzione in Laboratorio



Raccolta di esperienze da portare all'esame

⇒ Testo esperienza

⇒ Strumenti utilizzati

⇒ Risultati ottenuti



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Bibliografia essenziale e strumenti didattici

1. Dispense del Corso di Laboratorio di Automatica. Silvio Simani. (Fotocopisteria, tutorato, www)
2. Matlab, The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB. *Version 5.2* (In formato pdf su CD Matlab)
3. MATLAB Primer. Second Edition. Kermit Sigmon. Department of Mathematics. University of Florida.
4. The MathWorks Inc., Matlab User's Guide, 1993.
5. L. F. Shampine and M. W. Reichel, "The Matlab Ode Suite", Tech. rep., The MathWorks, Inc, 1997. (Disponibile anche come file in formato pdf).
6. The MathWorks Inc., Simulink User's Guide, 1995.
7. B. C. Kuo, Automatic Control Systems. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 7th ed., 1995.
8. P. Bolzern, R. Scattolini, and N. Schiavoni, Fondamenti di controlli automatici. Milano: McGraw-Hill, 1 ed., Marzo 1998.
9. G. Marro, TFI: insegnare e apprendere i controlli automatici di base con matlab. Bologna: Zanichelli, 1 ed., Ottobre 1998.
10. C. Fantuzzi, Controllori Standard PID. Appunti del Corso, 1a ed., 1999.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Introduzione a MATLAB

- ⇒ **Linguaggio per risolvere problemi di calcolo numerico (*MAThematical LABoratory*)**
- ⇒ **Marchio registrato da *MathWorks* Inc. (U.S.A.)**
- ⇒ **Pacchetto software più diffuso tra progettisti e ricercatori**
- ⇒ **Può essere ampliato da pacchetti specifici (*toolbox*)**
 - ⇒ Es. Control System Toolbox, Identification Toolbox, Simulink
- ⇒ **È un interprete in grado di eseguire**
 - ⇒ Istruzioni native (*build-in*, definite dal Matlab)
 - ⇒ Contenuti in files (*m-files*, *function-files*, *script-files*)



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Elementi di base di Matlab

⇒ L'elemento di base è la matrice (elementi interi, reali o complessi)

⇒ `>> A = [1,2,3;4,5,6]`

⇒ `A =`

```

1  2  3
4  5  6

```

⇒ `>> 7*3+2`

⇒ `ans =`

23



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Istruzioni elementari

⇒ `>> who`

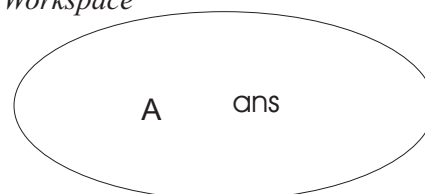
⇒ Your variables are:

A **ans**

⇒ `>> whos`

Name	Size	Bytes	Class
A	2x3	48	double array
ans	1x1	8	double array

Workspace



Grand total is 7 elements using 56 bytes



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Istruzioni "DOS-like"



Direttorio di lavoro: `Z:\...\auto_?`

⇒ `dir`

⇒ `type`

⇒ `delete, ...`



`>> help <topic>`



Creazione del file *pippo.mat* che contiene la matrice A

⇒ `>> save pippo A` (*salva la matrice A nel file "pippo.mat"*)

⇒ `>> clear A` (*rimuove dal workspace la matrice A*)

⇒ `>> load pippo` (*carica da file la matrice A*)



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Operazioni sulle matrici



Date le matrici A e B di dimensioni opportune, si possono definire le seguenti operazioni:

⇒ `>> S = A + B`

⇒ `>> P = A * B`

⇒ `>> At = A'`

⇒ `>> Ai = inv(A)`

⇒ `>> Ap = pinv(A)`, con $Ap = (A^T * A)^{-1} * A^T$



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Calcolo dei valori



Definita la matrice rettangolare $A_{m \times n}$ e la matrice quadrata $B_{n \times n}$, Matlab definisce le seguenti funzioni:

⇒ `>> det(B)`

⇒ `>> rank(A)`

⇒ `>> [V,D] = eig(B)`, con $V \cdot B \cdot V' = D$

⇒ `>> Bi = inv(B)`

⇒ `>> [m,n] = size(A)`



Selezione degli elementi della matrice A

⇒ `A(i,j)`, `A(1:2,2:3)`, `A(1,:)`, `A(:,3:5)`



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Risoluzione di sistemi lineari



Calcolare il valore di x , con $Ax = B$

⇒ $x = A^{-1}B$

⇒ `>> x = A \ B`

⇒ `>> x = inv(A) * B`



Calcolare il valore di x , con $xC = D$

⇒ $x = DC^{-1}$

⇒ `>> x = D / C`

⇒ `>> x = D * inv(C)`



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Script files e function files

```
% File quad.m

A = B * B;

B = A;

function r = rank(A)
%RANK    Matrix rank.
%  RANK(A) provides an estimate
%  of the number of linearly
%  independent rows or columns
%  of a matrix A.

s = svd(A);

r = sum(s > 0);
```



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Istruzioni di controllo

➞ for

➞ input

➞ disp

➞ while

➞ end

➞ if

➞ ...



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Numeri complessi e formato dell'output

⇒ `>> x = [1 , 3 , 7.5 + 4*i, 6.3]`

`x =`

1 3 7.5 + 4i 6.3

⇒ **Formato dell'output**

⇒ format short: 5 cifre

⇒ format long: 15 cifre

⇒ format exe: formato esadecimale

⇒ format long e: floating point format with 15 digits.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Generazione di matrici e polinomi

⇒ **Matrice casuale**

⇒ `>> A = rand(n,m)`

⇒ Generazione di una matrice ad elementi casuali
secondo alcuni parametri definibili dall'utente
(distribuzione, valore medio, varianza, seme)

⇒ **Rappresentazione di polinomi**

⇒ $p(x) = x^3 - 6x + 3$

⇒ `>> p = [1 , 0 , -6 , 3]`



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Operazioni sui polinomi



Radici di un polinomio

⇒ `>> r = roots(p)`

`r =`

-2.6691

2.1451

0.5240



Prodotto `c` di due polinomi (coefficienti `a` e `b`)

⇒ `>> c = conv(a,b)`



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Operazioni sui polinomi



Deconvoluzione (divisione) di polinomi

⇒ `>> [q,r] = deconv(a,b)`, con `q`, quoziente e `r`, resto



Sviluppo in fratti

⇒ `>> [r,p,k] = residue(n,d)`

⇒ con $n = s^2 + 6s + 7$ e $d = s^2 + 5s + 6$

⇒ Sviluppo in fratti: $\frac{s^2+6s+7}{s^2+5s+6} = \frac{2}{s+3} - \frac{1}{s+2} + 1$

<code>r =</code>	<code>p =</code>	<code>k =</code>
2	-3	1
-1	-2	



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Esercizi Proposti



Costruzione della funzione Matlab *my_hankel()*

- Scrivere la funzione $H = \text{my_hankel}(X, \text{NrH}, \text{NcH}, \text{shift})$, in cui X è un vettore di L elementi, NrH è il numero di righe di H , NcH è il numero di colonne di H , e shift è un intero maggiore od uguale a 0. La matrice H deve essere costruita in modo tale che

$$H = \begin{bmatrix} X(1 + \text{shift}) & \dots & X(\text{shift} + \text{NcH}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X(\text{shift} + \text{NrH}) & \dots & X(\text{shift} + \text{NcH} + \text{NrH} - 1) \end{bmatrix}$$

con l'ipotesi che $L \geq \text{shift} + \text{NcH} + \text{NrH} - 1$.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Esercizi Proposti



Costruzione di una funzione Matlab *obsv()*

- Scrivere un programma che, date le matrici $A_{n \times n}$ e $C_{m \times n}$, costruisca la matrice

$$Q = [C^T, A^T * C^T, \dots, A^{T^{n-1}} * C^T]^T.$$

Successivamente effettuare il test del rango.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Esercizi Proposti



Progetto di una trasformazione di matrici in ambiente Matlab

- Data la terna $(A_{n \times n}, B_{n \times 1}, C_{1 \times n})$, calcolare la matrice $P = [B, A * B, \dots, A^{n-1} * B]$. Successivamente calcolare le matrici $T1 = \text{im}(P)$ e $T2$, con $T2$ tale che $T = [T1, T2]$ sia quadrata e invertibile. Si esegua la trasformazione $Ac = \text{inv}(T) * A * T$, $Bc = \text{inv}(T) * B$ e $Cc = C * T$. Infine, detto n_c il numero di colonne di $T1$, estrarre le matrici $Ac1$, avente le prime n_c righe e colonne di Ac , $Bc1$ dalle prime n_c righe di Bc e $Cc1$, le prime n_c colonne di Cc . In maniera analoga, calcolare la matrice $Q = [C; (C * A); \dots; C * A^{n-1}]$ e effettuare la trasformazione T ricavata, come in precedenza, dall'immagine di Q' e dal suo complemento ortogonale.



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Risoluzione degli esercizi proposti



Costruzione della matrice Q



Calcolare $Q = [C^T, A^T * C^T, \dots, A^{T^{n-1}} * C^T]^T =$
 $= [C; C * A; \dots; C * A^{n-1}]$

```
>>Q = [C]; % calcolo passo passo
```

```
>>Q = [Q; C*A];
```

```
>>Q = [Q; C * A^2];
```

```
      .      .
```

```
      .      .
```

```
      .      .
```

```
>>Q = [Q; C * A^(n-1)];
```



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Risoluzione degli esercizi proposti



Costruzione della matrice Q in maniera automatica



Utilizzo della funzione `obsv(A,C)`

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

```
n = size(A,1);
```

```
Q = C;
```

```
for i=1:n-1
```

```
    Q = [C; Q*A];
```

```
end
```



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Risoluzione degli esercizi proposti



Richiami di geometria



$H = \text{orth}(K)$, ove H è una base ortonormale per l'immagine di K



$Z = \text{null}(V)$ ove Z è una base ortonormale per lo spazio nullo di V .



Data una matrice reale H , $\text{null}(H') = (\text{im}(H))^\perp$



$\mathbb{R}^n = \text{null}(K') + \text{im}(K)$



Data K , se $T_1 = \text{orth}(K)$ e $T_2 = \text{null}(K')$, allora $T = [T_1 \ T_2]$ è una base ortonormale per K



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Risoluzione degli esercizi proposti

⇒ **Trasformazione delle matrici** ($A_{(n \times n)}$, $B_{(n \times 1)}$, $C_{(1 \times n)}$)

⇒ **Calcolare la matrice** $Q = \text{obsv}(A, C)$

⇒ Controllare il rango di Q con $\text{rank}(Q)$

⇒ **La matrice T di trasformazione risulta** $T = [T1 \ T2]$

⇒ $T1 = \text{orth}(Q')$, $T2 = \text{null}(T1')$, $[n, nc] = \text{size}(T1)$

⇒ $T = \text{orth}(Q', \text{eye}(n))$

⇒ $A1 = \text{inv}(T) * A * T$, $B1 = \text{inv}(T) * B$, $C1 = C * T$

⇒ $Ao = A1(1:nc, 1:nc)$, $Bo = B1(1:nc)$, $Co = C1(1:nc)$



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani

Risoluzione degli esercizi proposti

⇒ **Trasformazione delle matrici** ($A_{(n \times n)}$, $B_{(n \times 1)}$, $C_{(1 \times n)}$)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & -1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, C = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1].$$



Università di Ferrara, Dip. di Ingegneria
v. Saragat, 1, I-44100, Ferrara, Italia

Silvio Simani