

INTRODUZIONE A MATLAB

Manolo Venturin

manolo.venturin@univr.it

manolo.venturin@gmail.com

Università degli Studi di Verona
Dipartimento di Informatica

(Disp. in collaborazione con M. Rosaria Russo, dell'Università di Padova)

A.A. 2010/2011

Introduzione

Il nome MATLAB è acronimo di MATrix LABoratory. Originariamente MATLAB è stato sviluppato come ambiente interattivo per il calcolo matriciale ad alto livello. La principale caratteristica è che non opera con numeri , ma con **matrici**: i vettori e i numeri sono considerati casi particolari di matrici.

Attualmente MATLAB è utilizzato anche come:

- Calcolatrice scientifica evoluta;
- Ambiente grafico;
- Linguaggio di programmazione.

Calcolatrice base

MatLab può essere usato in modo diretto per calcolare semplici espressioni matematiche:

```
>> 0.4 + 4/2
```

```
ans =
```

```
2.4000
```

ans (*answer*) e' una variabile di MatLab che memorizza il valore dell'ultima operazione

```
>> % divido il valore precedente per due
```

```
>> ans/2
```

```
ans =
```

```
1.2000
```

Calcolatrice base

Operazioni elementari: somma +, differenza -, moltiplicazione *, divisione /, elevamento a potenza ^ e parentesi ().

```
>> % Esempio di operazione
```

```
>> (0.4 + 4)/(3-4^0.5)
```

```
ans =
```

```
4.4000
```

```
>> % operazione con commento
```

```
>> (0.4 + 4)/(3-4^0.5) % commento
```

```
ans =
```

```
4.4000
```

Variabili predefinite o speciali

```
>> % pi greco
```

```
>> pi
```

```
ans =
```

```
3.1416
```

```
>> % Oss: La visualizzazione di pi greco e'  
troncata.
```

```
>> % La sua rappresentazione interna al  
calcolatore e' sempre in doppia precisione
```

Variabili predefinite o speciali

```
>> % Unita' immaginaria
```

```
>> i
```

```
ans =
```

```
0 + 1.0000i
```

```
>> % oppure
```

```
>> j
```

```
ans =
```

```
0 + 1.0000i
```

Attenzione: se vengono riassegnate perdono il loro valore di default

Variabili predefinite o speciali

>> % Non-un-numero (Not-a-Number)

>> NaN

>> % Deriva da un'operazione matematicamente indefinita come $0/0$ o $\text{Inf}-\text{Inf}$

>> $0/0$

Warning: Divide by zero

ans =
NaN

Variabili predefinite o speciali

Variabili predefinite

Variabile	Significato
<code>ans</code>	valore ultima operazione eseguita e non assegnata ad una variabile
<code>i, j</code>	unità immaginaria, $\sqrt{-1}$
<code>pi</code>	approssimazione di π
<code>eps</code>	precisione macchina
<code>realmax</code>	massimo numero macchina positivo rappresentabile
<code>realmin</code>	minimo numero macchina positivo rappresentabile
<code>Inf</code>	∞ , ossia un numero maggiore di <code>realmax</code>
<code>NaN</code>	Not a Number (0/0, Inf/Inf, ...)
<code>computer</code>	tipo di computer
<code>version</code>	versione di MATLAB

Definire variabili

Nome variabile = espressione assegnata

```
>> % Variabile a
```

```
>> a = 4/3
```

```
a =
```

```
1.3333
```

```
>> % Variabile b
```

```
>> b = 3/4
```

```
b =
```

```
0.7500
```

```
>> % Variabile c
```

```
>> c = a*b
```

```
c =
```

```
1
```

Definire variabili

- I nomi delle variabili possono essere lunghi max 31 caratteri, con distinzione tra maiuscole e minuscole (A e a sono variabili distinte).
- La prima lettera di una variabile deve essere un carattere alfabetico (a-A o z-Z).
- I nomi **non** devono contenere spazi e caratteri speciali come:
 - Simboli di operazione: -, =, +, *
 - Apostrofi
 - Punteggiatura
 - Slash e backslash

Definire Variabili

MatLab non richiede alcun tipo di dichiarazione o dimensionamento.

A differenza dei normali linguaggi di programmazione (C, Pascal, Fortran) non occorre dichiarare le variabili.

L'assegnazione coincide con la dichiarazione.

Formato di visualizzazione dati

```
>> pi
```

```
ans =
```

```
3.1416 % Rappresentazione a 5 cifre
```

Il formato standard di rappresentazione dei dati in MatLab è con 5 cifre. E' possibile modificarla con il comando `format`

```
>> % Cambio formato dati in visualizzazione
```

```
>> format long
```

```
>> pi
```

```
ans =
```

```
3.14159265358979 % Rappresentazione a 15 cifre
```

Cambiare formato di visualizzazione dati

La modifica della visualizzazione di un risultato tramite `format` non ha nulla a che vedere con l'effettiva precisione con cui MATLAB effettua il calcolo.

Tutte le operazioni in MATLAB sono eseguite in doppia precisione, questo vuol dire avere almeno 15 cifre decimali significative!!!

Formato di rappresentazione short

```
>> c=0.456723
```

```
c =
```

```
0.4567      % Rappresentazione a 5 cifre standard
```

```
>> format short e
```

```
>> c
```

```
c =
```

```
4.5672e-01 % Forma esponenziale con 5 cifre  
per la mantissa
```

Formato di rappresentazione long

```
>> format long
```

```
>> c
```

```
c =
```

```
0.45672300000000000000 % Rappresentazione a 15 cifre
```

```
>> format long e
```

```
>> c
```

```
c =
```

```
4.56723000000000000000e-001 % Forma esponenziale  
con 16 cifre per la  
mantissa
```

Formati di visualizzazione

Formati disponibili

Variabile	Significato
FORMAT	Default.
FORMAT SHORT	Virgola fissa scalata con 5 cifre.
FORMAT LONG	Virgola fissa scalata con 15 cifre.
FORMAT SHORT E	Forma esponenziale con 5 cifre di mantissa.
FORMAT LONG E	Forma esponenziale con 15 cifre di mantissa.
FORMAT SHORT G	Sceglie la rappresentazione migliore con 5 cifre.
FORMAT LONG G	Sceglie la rappresentazione migliore con 15 cifre.

Formati di visualizzazione

Esempio

	<code>format short</code>	1.5000
	<code>format long</code>	1.5000000000000000
1.5 ⇒	<code>format short e</code>	1.5000e+00
	<code>format long e</code>	1.5000000000000000e+00
	<code>format short g</code>	1.5
	<code>format long g</code>	1.5

Sopprimere l'output di visualizzazione

>> % per sopprimere l'output di visualizzazione dei dati si utilizza il carattere ; che indica la fine di una espressione.

```
>> c = 3
```

```
c =  
    3
```

```
>> c = 3;
```

>> % non visualizza nessuna risposta.

Più righe di codice per linea

Una volta soppresso l'output di visualizzazione delle variabili si possono concatenare più istruzione per riga

```
>> c = 3; d = 4; e = c-d;
```

La `,` separa la visualizzazione di più variabili

```
>> c , e
```

```
c =
```

```
3
```

```
e =
```

```
-1
```

Spezzare le righe

Il seguente comando:

```
>> b=1+1/2+5/3+1/4+23/6+...  
2/9+1/10;
```

permette di spezzare un'istruzione troppo lunga.

Ottenere informazioni

- `help` on line per informazioni su funzioni

```
>>help sqrt
```

- MatLab vers.6 e successive, comando `doc` per aprire una finestra di manuale on line

```
>>doc format
```

- `lookfor` per cercare funzioni con una parola chiave

```
>>lookfor cosine
```

Ottenere informazioni: help

Si utilizza il comando `help` seguito dalla funzione di cui si desiderano informazioni

```
>> % Esempio help per la funzione format  
>> help format
```

FORMAT Set output format.

All computations in MATLAB are done in double precision. FORMAT may be used to switch between different output display formats as follows:

FORMAT Default. Same as SHORT.

FORMAT SHORT Scaled fixed point format with 5 digits.

...

...

Ottenere informazioni: help

Ogni file generalmente inizia con una serie di commenti che ne presentano il contenuto: e' la parte dichiarativa.

Se al termine della parte dichiarativa, prima dell'inizio dei comandi o istruzioni, si lascia una riga vuota (senza neanche il simbolo % all'inizio), dalla finestra dei comandi si potrà vedere il contenuto di questa parte digitando **help nome** essendo **nome.m** il nome del file.

Ottenere informazioni: doc

The screenshot shows the MATLAB Help Navigator window. The left pane displays a tree view of the help contents, with 'MATLAB' expanded. The right pane shows the 'format' function reference page. The page title is 'MATLAB Function Reference: format'. The content includes a description of the function, a graphical interface section, a syntax section, and a description section. A table at the bottom lists the values for the 'type' parameter and the resulting output format.

Product filter: All Selected

Contents | Index | Search | Favorites

- Begin Here
- Release Notes for Release 12.1
- Installation
- MATLAB
- Simulink
- Stateflow
- Real-Time Workshop
- CDMA Reference Blockset
- Communications Blockset
- Communications Toolbox
- Control System Toolbox
- Data Acquisition Toolbox
- Database Toolbox
- Datafeed Toolbox
- Developer's Kit for Texas Instruments DSP
- Dials & Gauges Blockset
- DSP Blockset
- Excel Link
- Filter Design Toolbox
- Financial Toolbox
- Financial Derivatives Toolbox
- Financial Time Series
- Fixed-Point Blockset
- Fuzzy Logic Toolbox
- GARCH Toolbox
- Image Processing Toolbox
- Instrument Control Toolbox
- Mapping Toolbox
- MATLAB C/C++ Math Library
- MATLAB C/C++ Graphics Library
- MATLAB Compiler
- MATLAB Runtime Server
- MATLAB Web Server
- Motorola DSP Developer's Kit
- Model Predictive Control Toolbox
- Mu-Analysis and Synthesis Toolbox
- Nonlinear Control Design Blockset
- Neural Network Toolbox
- Optimization Toolbox
- Partial Differential Equations (PDE) Toolbox
- Power System Blockset
- Real-Time Windows Target
- Requirements Management Interface
- Report Generator

MATLAB Function Reference: format

MATLAB Function Reference

format

Control display format for output

Graphical Interface

As an alternative to `format`, use [preferences](#). Select **Preferences** from the **File** menu in the MATLAB desktop and use **Command Window** preferences.

Syntax

```
format
format type
format('type')
```

Description

MATLAB performs all computations in double precision. Use the `format` function to control the output format of the numeric values displayed in the Command Window. The `format` function affects only how numbers are displayed, not how MATLAB computes or saves them. The specified format applies only to the current session. To maintain a format across sessions, use [MATLAB preferences](#).

`format` by itself, changes the output format to the default type, `short`, which is 5-digit scaled, fixed-point values.

`format type` changes the format to the specified `type`. The table below describes the allowable values for `type`. To see the current `type` file, use `get(0, 'Format')`, or for `compact` versus `loose`, use `get(0, 'FormatSpacing')`.

Value for type	Result	Example
<code>+</code>	<code>+</code> , <code>-</code> , blank	<code>+</code>
<code>bank</code>	Fixed dollars and cents	3.14
<code>compact</code>	Suppresses excess line feeds to show more output in a single screen. Contrast with <code>loose</code> .	<code>theta = pi/2</code> <code>theta=</code> 1.5708
<code>hex</code>	Hexadecimal	400921fb54442d18
<code>long</code>	15-digit scaled fixed point	3.14159265358979
<code>long e</code>	15-digit floating point	3.141592653589793e+00
<code>long g</code>	Best of 15-digit fixed or floating point	3.14159265358979
<code>loose</code>	Adds linefeeds to make output more readable. Contrast with <code>compact</code> .	<code>theta = pi/2</code> <code>theta=</code> 1.5708
<code>rat</code>	Ratio of small integers	355/113
<code>short</code>	5-digit scaled fixed point	3.1415

Ottenere informazioni: lookfor

Questo comando cerca una stringa particolare all'interno della prima riga dell'help di una funzione, e rimanda una lista di tutti i comandi trovati.

```
>> lookfor cosine
```

produce

ACOS Inverse cosine.

ACOSH Inverse hyperbolic cosine.

COS Cosine.

COSH Hyperbolic cosine.

Lavorare con il workspace

Le variabili vengono memorizzate nell'area di lavoro **WORKSPACE**. All'apertura della sessione di lavoro tale area è vuota. Tutte le variabili vengono memorizzate nel workspace.

Il comando **clear** serve a cancellare le variabili

>> clear c	<i>% cancella la variabile c</i>
>> clear	<i>% cancella tutte le variabili</i>
>> clc	<i>% ripulisce lo schermo</i>

Lavorare con il workspace

Il comando `who` serve a visualizzare le variabili poste in memoria.

```
>> clear
```

```
>> who      % Non visualizza niente dopo clear,  
            perchè il workspace è vuoto
```

```
>> x = 5; y = -x;
```

```
>> who
```

Your variables are:

```
x y
```

Lavorare con il workspace

Il comando `whos` serve a visualizzare più informazioni sulle variabili (nome, tipo di variabile, occupazione memoria)

```
>> x = 5; y = -x;  
>> whos
```

Name	Size	Bytes	Class
x	1x1	8	double array
y	1x1	8	double array

Grand total is 2 elements using 16 bytes

Funzioni matematiche predefinite

- Funzioni trigonometriche
(`sin`,`cos`,`tan`,`asin`,`acos`,`atan`,`sinh`,`cosh`,...)
- Funzione esponenziali e logaritmiche
(`exp`,`log`,`log10`,`sqrt`)
- Funzioni di arrotondamento, aritmetica complessa
(`abs`,`floor`,`ceil`,`round`,`real`,`imag`)

Per una lista più ampia si digiti il comando

```
>> help elfun
```

Esempio per la chiamata di una funzione

Calcolo il logaritmo naturale di 100

```
>> log(100)
```

```
ans =
```

```
4.6052
```

Calcolo il logaritmo in base 10 di 100

```
>> log10(100)
```

```
ans =
```

```
2
```

Esempio per la chiamata di una funzione

Esempio funzioni complesse

```
>> zeta = 5; theta = pi/3;
```

```
>> z = zeta*exp(i*theta)
```

```
z =
```

```
2.5000 + 4.3301i
```

```
>> x = real(z)           % estrae la parte reale
```

```
x =
```

```
2.5000
```

```
>> y = imag(z)         % estrae la parte immaginaria
```

```
y =
```

```
4.3301
```

Matrici e vettori

Tutte le variabili per MatLab hanno una struttura matriciale:

- Uno scalare è una matrice (1×1)
- Un vettore riga è una matrice $(1 \times n)$
- Un vettore colonna è una matrice $(n \times 1)$
- Una stringa di caratteri è un vettore di caratteri.

Dunque la struttura principale del MatLab è
l'array

Come MATLAB memorizza le matrici

MATLAB memorizza le matrici in un array unidimensionale (=vettore) formato dalla prima colonna della matrice seguita dalla seconda, dalla terza, ecc.

matematica

```
a1,1 a1,2 a1,3  
a2,1 a2,2 a2,3  
a3,1 a3,2 a3,3
```

BASIC, FORTRAN, MATLAB

```
a(1, 1) a(1, 2) a(1, 3)  
a(2, 1) a(2, 2) a(2, 3)  
a(3, 1) a(3, 2) a(3, 3)
```

MATLAB

```
a(1) a(4) a(7)  
a(2) a(5) a(8)  
a(3) a(6) a(9)
```

Come MATLAB memorizza le matrici

Quindi $a(j)$ indica l'elemento della matrice di posto j secondo la numerazione progressiva per colonne. Questo consente di richiamare gli elementi di una matrice sia in modo tradizionale con due indici $a(h, k)$ che con un solo indice $a(j)$.

Creazioni di matrici: elemento per elemento

```
>> % Creazione per assegnamento diretto  
>> % Matrice 3 x 3  
>> % Ogni riga è separata dal carattere ;
```

```
>> c = [1 2 3; 4 5 6; 7 8 9]
```

```
c =
```

```
 1     2     3  
 4     5     6  
 7     8     9
```

Creazioni di matrici: elemento per elemento

```
>> % VETTORE COLONNA  
>> % Matrice 3 x 1  
>> % Ogni riga è separata dal carattere ;
```

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

```
x =
```

```
1
```

```
2
```

```
3
```

Il punto e virgola separa le righe

Creazioni di matrici: elemento per elemento

```
>> % VETTORE RIGA
```

```
>> % Matrice 1 x 3
```

```
>> % Ogni colonna è separata da uno spazio o da  
una virgola.
```

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

```
x =
```

```
1 2 3
```

```
>> % oppure
```

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

```
x =
```

```
1 2 3
```

Lo spazio o la virgola separano elementi sulla stessa riga.

Trasposta di una matrice

>> % Scambio righe-colonne attraverso il comando ' posto alla fine della matrice

```
>> b = [1 2 ; 3 4; 5 6]
```

```
b =
```

```
    1    2
```

```
    3    4
```

```
    5    6
```

```
>> a = b'
```

```
a =
```

```
    1    3    5
```

```
    2    4    6
```

Trasposto per i vettori

```
>> % Vettori riga diventano vettori colonna
```

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

```
x =
```

```
    1    2    3
```

```
>> % mentre vettori colonna diventano vettori  
riga
```

```
>> y = x'
```

```
y =
```

```
    1
```

```
    2
```

```
    3
```

Dimensioni di un array

```
>>x=[]           % crea una vettore vuoto.  
>> length(x)  
ans =  
    0           % length fornisce la lunghezza di un vettore  
  
>> x = [1:3];  
>> length(x)  
ans =  
    3  
>> size(x)      % size fornisce le dimensioni di un array  
ans =  
    1    3  
  righe  colonne
```

Dimensioni di un array

Il comando `size` fornisce le dimensioni di una matrice.

```
>> A = [1 2 3; 4 5 6];
```

```
>> size(A)
```

```
ans =
```

```
    2    3
```

produce il vettore riga di due elementi contenente il numero di righe e colonne di A

Dimensioni di un array

Il comando `length` fornisce la lunghezza di un vettore.

```
>> x = [1 2 3 4];      % vettore riga
```

```
>> length(x)
```

```
ans =
```

```
    4
```

```
>> y = [3; 4; 5];     % vettore colonna
```

```
>> length(y)
```

```
ans =
```

```
    3
```

Dimensioni di un array

```
>>A=[]           % crea una matrice vuota, dimensioni 0x0
>>A= [1 2 3; 4 5 6];
>>size(A)
ans =
     2     3
```

Il comando `length(A)` applicato ad una matrice A non vuota equivale a calcolare `max(size(A))`

```
>>length(A)
ans =
     3
```

Creazioni di matrici: funzioni predefinite

- Funzioni per vettori
(`linspace`, `logspace`, `:`)
- Funzioni per le matrici
(`ones`, `zeros`, `eye`, `diag`)

Funzione	Azione
<code>linspace</code>	vettore riga di elementi equispaziati
<code>logspace</code>	vettore riga di elementi equispaziati in scala logaritmica
<code>zeros</code>	matrice contenente solo elementi uguali a zero
<code>ones</code>	matrice contenente solo elementi uguali a uno
<code>rand</code>	matrice contenente numeri pseudo-casuali in $[0,1]$
<code>eye</code>	matrice identità
<code>diag</code>	matrice diagonale

Creazioni di vettori: linspace

Il comando `linspace` crea un vettore di elementi equispaziati:

`linspace(Inizio, fine, numero di punti)`

```
>> a=0; b=1; n=6;
```

```
>> x=linspace(a,b,n)
```

```
x =
```

```
x =
```

```
0    0.2000    0.4000    0.6000    0.8000
```

```
1.0000
```

Se il numero dei punti è omissso viene posto uguale a 100

La notazione :

Un operatore di fondamentale importanza per costruire vettori equispaziati e per operare con insiemi di indici è la notazione due punti . La notazione : viene usata

- Per creare vettori
- Per estrarre o accedere agli elementi di un array

La notazione :

vettore=[inizio,incremento,fine]

vettore è un vettore riga, inizio e fine sono il primo e l'ultimo elemento del vettore e incremento è un parametro che indica la spaziatura tra gli elementi (se omesso =1)

```
>> x = 1:8
```

```
x =
```

```
1 2 3 4 5 6 7 8
```

```
>> y = 1:2:15
```

```
y =
```

```
1 3 5 7 9 11 13 15
```

La notazione :

Per creare vettori riga e colonna

```
>> u = (1:5)'
```

```
u =      % u vettore colonna perchè trasposto  
        % di un vettore riga
```

```
1  
2  
3  
4  
5
```

```
>> v = 1:5' % u vettore riga perchè 5'=5
```

```
v =
```

```
1 2 3 4 5
```

Costruire e manipolare matrici

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

```
A =
```

```
    1    2    3
    4    5    6
    7    8    9
```

```
>>A(:,1)
```

% per estrarre colonne

```
ans =
```

```
    1    4    7
```

```
>>A(2,:)
```

% per estrarre righe

```
ans =
```

```
    4    5    6
```

Manipolare matrici

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

```
A =
```

```
    1    2    3  
    4    5    6  
    7    8    9
```

```
>>A(2,2:3)
```

% per estrarre parti di matrici

```
ans =
```

```
    5    6
```

```
>>A(1:2,2:3)
```

```
ans =
```

```
    2    3  
    5    6
```

Manipolare matrici

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

```
>>A(1,:)= [2:2:6]
```

*% per modificare righe e
colonne di matrici*

```
A =
```

```
    2    4    6  
    4    5    6  
    7    8    9
```

```
>>A(:,1)=[ ] % per rimuovere righe e colonne di matrici
```

```
A =
```

```
    2    3  
    5    6  
    8    9
```

Manipolare matrici

```
>> A=[1 2; 3 4], B=[5 6; 7 8];
```

```
>> C=[A B] % per concatenare matrici
```

```
C =
```

```
 1  2  5  6  
 3  4  7  8
```

% C non è un vettore di matrici ma una matrice composta dalle matrici A e B affiancate.

```
x=[1:3], y=[4:6];
```

```
>> v=[x y] % per concatenare vettori
```

```
v =
```

```
 1  2  3  4  5  6
```

% Se x e y sono vettori colonna, v sarà una matrice con x e y come prima e seconda colonna.

Matrici particolari

```
>> eye(3)
```

% matrice idenità di ordine 3

```
ans =
```

```
1 0 0
0 1 0
0 0 1
```

```
>> ones(2,3)
```

% matrice con tutti 1 di ordine

(2x3)

```
ans =
```

```
1 1 1
1 1 1
```

```
>> zeros(2,4)
```

% matrice nulla di ordine (2x4)

```
ans =
```

```
0 0 0 0
0 0 0 0
```

Costruzione di matrici

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

*% se x è un vettore il comando **diag** costruisce una matrice quadrata diagonale con x come diagonale principale.*

```
>>A=diag(x)
```

```
A =
```

```
  1   0   0
  0   2   0
  0   0   3
```

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

% se A è una matrice, produce un vettore contenente la diagonale principale di A.

```
>> x=diag(A)'
```

```
x =
```

```
  1   5   9
```

Matrici particolari

```
>>A=rand(2,3)      % matrice 2x3 di elementi random in  
                    [0,1] con distribuzione uniforme
```

```
A =
```

```
    0.5252    0.6721    0.0196  
    0.2026    0.8381    0.6813
```

```
>>A=randn(2,3)     % matrice 2x3 di elementi random  
                    con distribuzione normale a media  
                    0  
                    e varianza 1
```

```
A =
```

```
   -0.5883   -0.1364    1.0668  
    2.1832    0.1139    0.0593
```

Ridimensionamento dinamico della matrice

```
>> % Ridimensionamento dinamico
```

```
>> A = [1:3 ; 4:6 ; 7:9];
```

```
>> A(4,4) = 1
```

```
A =
```

1	2	3	0
4	5	6	0
7	8	9	0
0	0	0	1

Una matrice (3x3) viene ridimensionata (4x4)

Funzioni per manipolare matrici

Comando	Significato
<code>x=sum(A)</code>	restituisce il vettore x , con $x_j = \sum_{i=1}^n a_{i,j}$, $j = 1, \dots, n$
<code>x=max(A)</code>	restituisce il vettore x , con $x_j = \max\{a_{i,j}, i = 1, \dots, n\}$, $j = 1, \dots, n$
<code>x=min(A)</code>	restituisce il vettore x , con $x_j = \min\{a_{i,j}, i = 1, \dots, n\}$, $j = 1, \dots, n$
<code>x=diag(A)</code>	restituisce il vettore x , con $x_j = a_{j,j}, j = 1, \dots, n$
<code>B=abs(A)</code>	restituisce la matrice B , con $b_{i,j} = a_{i,j} $
<code>B=tril(A)</code>	restituisce la matrice triangolare inferiore B , con $b_{i,j} = a_{i,j}, i = 1, \dots, n, j \leq i$
<code>B=triu(A)</code>	restituisce la matrice triangolare superiore B , con $b_{i,j} = a_{i,j}, i = 1, \dots, n, j \geq i$
<code>norm(A)</code>	restituisce la norma 2 di A
<code>norm(A,1)</code>	restituisce la norma 1 di A
<code>norm(A,inf)</code>	restituisce la norma infinito di A
<code>cond(A)</code>	restituisce il numero di condizionamento in norma 2 di A
<code>[V,D]=eig(A)</code>	restituisce la matrice diagonale D che contiene gli autovalori di A e la matrice X le cui colonne sono gli autovettori corrispondenti
<code>B=eye(n)</code>	restituisce la matrice identica B di ordine n
<code>B=zeros(n,m)</code>	restituisce la matrice nulla B di ordine $n \times m$
<code>B=ones(n,m)</code>	restituisce la matrice B di ordine $n \times m$, con $b_{i,j} = 1$, $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$
<code>B=rand(n,m)</code>	restituisce una matrice B di ordine $n \times m$, con $b_{i,j}$ $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$
<code>B=hilb(n)</code>	restituisce la matrice B di Hilbert di ordine n
<code>B=vander(n)</code>	restituisce la matrice B di Vandermonde di ordine n

Esempio

tabulazione di una funzione

```
>> x = linspace(0,2*pi,6)';  
>> y = sin(x); z = cos(x);  
>> [x y z]  
ans =  
      0      0      1.0000  
 1.2566  0.9511  0.3090  
 2.5133  0.5878 -0.8090  
 3.7699 -0.5878 -0.8090  
 5.0265 -0.9511  0.3090  
 6.2832 -0.0000  1.0000
```

Stringhe

- Le stringhe sono matrici i cui elementi sono caratteri (es. a-z, A-Z, ...)
- Le stringhe sono racchiuse tra apici (' ')
- Sono tipicamente utilizzate per visualizzare il nome delle variabili ed il relativo valore.
- Si possono manipolare facilmente ed è possibile costruire frasi concatenando tra di loro delle matrici.

Creazione di una stringa

```
>> % stringa tra apici
```

```
>> nome = 'Mario'
```

```
nome =
```

```
Mario
```

```
>> % stringa tra apici
```

```
>> cognome = 'Rossi'
```

```
cognome =
```

```
Rossi
```

Concatenazione di stringhe

Uso operatore delle matrici

```
>> nc = [nome, ' ',cognome]
```

```
nc =
```

```
Mario Rossi
```

Uso operatore dei vettori

```
>> length(nc)
```

```
ans =
```

```
11
```

```
>> nc(7:11)
```

```
ans =
```

```
Rossi
```

Concatenazione di stringhe

```
>> a='Mi'
```

```
a =
```

```
Mi
```

```
>> b='chiamo'
```

```
b =
```

```
chiamo
```

```
>> c='Roberto'
```

```
c =
```

```
Roberto
```

```
>> d=[a,' ',b,' ',c]
```

```
d =
```

```
Mi chiamo Roberto
```

Concatenazione di stringhe

```
>> whos
```

Name	Size	Bytes	Class
a	1x2	4	char array
b	1x6	12	char array
c	1x7	14	char array
d	1x17	34	char array

Matlab utilizza 2 byte per ogni carattere.

Da numero a stringa

Il comando `num2str` converte un numero in una stringa

```
>> msg1 = ['There are ',num2str(100/2.54),' inches in a meter']
```

```
msg1 =
```

```
There are 39.3701 inches in a meter
```

```
>> disp(['pi = ',num2str(pi)]);
```

```
pi = 3.1416
```

```
>> disp(['num. iter = ',num2str(i),' valore approssimato = ',num2str(x(i))]);
```

```
num. iter = 9 valore approssimato = 0.5
```

Funzioni per la manipolazione di stringhe

abs	Converte una stringa nel corrispondente valore numerico
isstr	vero se la variabile è una stringa
setstr	converte valore numerico in stringa
str2mat	Crea una matrice testo
lower	converte in minuscole
upper	converte in maiuscole
strcmp	confronta 2 stringhe
int2str	converte intero in stringa
num2str	converte numero in stringa
sprintf	converte numero in stringa (come C)
str2num	converte stringa in numero
sscanf	converte stringa in numero (come C)
dec2hex	conversione decimale-esadecimale
hex2dec	conversione esadecimale-decimale
hex2num	conversione esadecimale a floating point
base2dec	conversione da base B a decimale
dec2base	conversione da decimale a base B

Gestione Output

Per visualizzare un insieme di dati di output con un certo formato si utilizzano i comandi `fprintf` e `sprintf`

```
fprintf(fid, 'formato', variabili)
```

- *formato* è una stringa di testo che tramite l'uso di caratteri speciali indica il tipo di formato dell'output,
- *variabili* è una lista opzionale di variabili, separate da virgole, che hanno un corrispondente all'interno della stringa formato,
- *fid* è un identificatore opzionale del file al quale l'output è inviato.

Gestione Output su video

Il comando `sprintf` ha la seguente sintassi

```
str=sprintf('formato',variabili)
```

indirizza su una stringa di testo di nome *str* le `variabili` indicate, con il `formato` definito.
Per visualizzare il tutto si usa il comando

```
>>disp(str)
```

Gestione Output

Il '*formato*' è una stringa che contiene i caratteri che si vogliono visualizzare e, nelle posizioni in cui si vuole venga inserito il valore, deve essere indicato uno dei formati preceduti dal carattere %. Tali codici di formati sono abitualmente seguiti da due interi separati da un punto (*%6.3*). Il primo numero indica quante colonne si desiderano impegnare in uscita ed il secondo il numero di cifre della parte frazionaria. I formati `\n` `\t` servono per organizzare le linee dell'output.

Gestione Output

Esempi:

```
>> n=4; x=1234.5467; err=1.345677e-4;  
>> st=sprintf('Iter = %4.0f \t Valore x = %10.7f  
\t Errore = %9.2e', n, x, err);
```

```
>> disp(st);
```

```
Iter =   4   Valore x = 1234.5467000 Errore =  
  1.35e-004
```

```
>> disp(['lunedì' ', 'martedì' ', 'mercoledì' '])
```

```
lunedì martedì mercoledì
```

```
>> disp(['lunedì' '; 'martedì' '; 'mercoledì' ']);
```

```
lunedì
```

```
martedì
```

```
mercoledì
```

Codici di formato

La seguente tabella mostra alcuni codici di formato e relativo significato.

Codice di formato	Significato
<code>%e</code>	formato stringa
<code>%d</code>	formato decimale
<code>%g</code>	seleziona il formato per numeri interi, fixed point o esponenziali
<code>%f</code>	formato fixed point del numero (esempio 1343.675432)
<code>%e</code>	formato esponenziale del numero (esempio 1.34376e+003)
<code>\n</code>	inserisce carattere di ritorno a capo
<code>\t</code>	inserisce carattere di tabulazione

Gestione Output: esempi

% visualizza i valori di una funzione

```
t=0 :pi/10 :2*pi ;  
y=2*sin(t).*cos(t) ;  
funz=[t;y];  
fprintf('-----\n');  
fprintf('Valori di sin(t)*cos(t) tra 0 e 2*pi \n');  
fprintf('-----\n');  
fprintf('%4.2f %10.6f\n',funz) ;
```

% Si osservi che MatLab accede alla matrice funz per colonne, quindi il contenuto di funz in uscita sarà trasposto, la prima riga (t) sarà visualizzata come prima colonna.

Gestione Output: esempi

Valori di $\sin(t) \cdot \cos(t)$ tra 0 e $2 \cdot \pi$

0.00	0.000000
0.63	0.951057
1.26	0.587785
1.88	-0.587785
2.51	-0.951057
3.14	-0.000000
3.77	0.951057
4.40	0.587785
5.03	-0.587785
5.65	-0.951057
6.28	-0.000000

Gestione Output: esempi

Il seguente codice

```
% tabsincos.m
% costruisce la tabella dei valori di seno e coseno
% in 5 punti equispaziati di (0,pi)
x=linspace(0,pi,5);
s=sin(x);
c=cos(x);
disp('-----');
fprintf('k \t x(k) \t sin(x(k)) \t cos(x(k))');
disp('-----');
fprintf('%d\t %3.2f\t %8.5f\t %8.5f\n', [1:5;x;s;c]);
```

Gestione Output: esempi

Produce la seguente tabella

k	x(k)	sin(x(k))	cos(x(k))
1	0.00	0.000000	1.000000
2	0.79	0.707111	0.707111
3	1.57	1.000000	0.000000
4	2.36	0.707111	-0.707111
5	3.14	0.000000	-1.000000

Gestione Output su file

Per scrivere su file un insieme di dati di output con un certo formato si utilizzano i comandi `fopen`, `fprintf`, `fclose`:

```
fid=fopen('stringa','w')
```

`fid` è una variabile che identifica il file e `'stringa'` definisce il nome del file, apre il file in scrittura ('w')

```
fprintf(fid,'formato',variabili)
```

dove `fid` è l'identificatore del file di uscita, scrive nel file `fid` il valore delle variabili con il formato assegnato.

```
fclose(fid)
```

dove `fid` è la variabile che identifica il file, chiude il file.

Gestione Output

```
>> A = [ 1 4 7  
        2 5 8  
        3 6 9];  
>> fid = fopen('file.dat','w');  
>> fprintf(fid,'%5.0f', A);  
>> fclose(fid);  
>> type file.dat
```

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9
```

% La matrice A viene memorizzata per colonne e le sue componenti stampate su di una riga

Gestione Output

Per gestire in uscita matrici di dimensioni $n \times m$

```
>> A=[1 4 6 5 8; 6 7 4 3 1; 8 7 3 2 1];
>> [n,m] = size(A);
>> fid = fopen('matrice.out','w');
>> for i=1:n
>>     for j=1:m
>>         fprintf(fid,'%8.4f\t',A(i,j));
>>     end
>> fprintf(fid,'\n');
>> end
>> fclose(fid);
```

Gestione Input da tastiera

Il comando

```
variabile=input('stringa')
```

attende un dato in ingresso da tastiera, dopo aver visualizzato la stringa di caratteri *stringa*, e lo assegna a *variabile*. Utilizzabile per assegnare una sola variabile.

```
>> nmax = input(' Numero massimo di iterazioni ')
```

```
Numero massimo di iterazioni 40
```

```
nmax =
```

```
40
```

```
>> nomefile= input('Nomefile = ')
```

```
Nomefile = 'dati.in' % Per aprire file deve essere una stringa
```

```
nomefile =
```

```
dati.in
```

Gestione Input

Per leggere da un file un insieme di dati si utilizzano
fopen, fscanf, fclose:

```
fid=fopen('stringa')           % Apre il file
```

```
var=fscanf(fid,'formato',size)
```

fid identifica il file, legge tutti i dati contenuti nel file
identificato da fid, convertendoli in base al formato specificato
e memorizzandoli nella variabile `var`, `size` indica la dimensione
della variabile `var` e può essere scritto come

```
nval           % legge nval numeri, li memorizza in vet.colonna  
[nrighe, ncol] % legge nrighe*ncol numeri memorizzandoli  
               % in una matrice che ha tale dimensione
```

```
fclose(fid)           % Chiude il file
```

Gestione Input: esempi

```
>> type dati.in
```

```
0.10 2
```

```
0.20 3
```

```
0.30 4
```

```
>> f1 = fopen('dati.in');
```

```
>> vet = fscanf(f1,'%g %g',2)
```

% legge la prima riga

```
vet =
```

```
0.1000
```

```
2.0000
```

```
>> vet1 = fscanf(f1,'%g %g',2)
```

% legge la seconda riga

```
vet1 =
```

```
0.2000
```

```
3.0000
```

```
>> vet2 = fscanf(f1,'%g %g',2)
```

% legge la terza riga

```
vet2 =
```

```
0.3000
```

```
4.0000
```

```
>> fclose(f1)
```

Gestione Input: esempi

```
>> type FILEOUT.DAT      % contiene una matrice 3x3  
    1    2    3  
    4    5    6  
    7    8    9  
>> f4 = fopen('FILEOUT.DAT');  
>> A = fscanf(f4,'%g %g %g',[3 inf]);  
>> fclose(f4)
```

Legge per righe 3 elementi fino alla fine del file, A sarà una matrice di dimensione 3 righe x 3 colonne, bisogna trasporre la matrice per avere le componenti corrispondenti a quelle della matrice del file.

```
>> A = A'
```

```
A =
```

```
    1    2    3  
    4    5    6  
    7    8    9
```

Salvataggio e richiamo dati

Spesso si hanno dati raccolti con altri programmi che si vorrebbero analizzare mediante MatLab. Il metodo più semplice consiste nell'avere questi dati in un file in formato ASCII, come nel prossimo esempio:

1	2	-5
2	0.2500	-9
3	0.0740	-23
4	0.0310	-53
5	0.0160	-105
6	0.0090	-185
7	0.0050	-299
8	0.0030	-453
9	0.0020	-653
10	0.0020	-905

Salvataggio e richiamo dati

Questi dati possono essere salvati su un file (per esempio dati.dat) e caricati in MatLab con il comando **load**.

In questo esempio, in MatLab viene creata una matrice **dati** di dimensione 10x3

```
>> load dati.dat
```

```
>> whos
```

Name	Size	Bytes	Class
dati	10x3	240	double array

Grand total is 30 elements using 240 bytes

Salvataggio e richiamo dati

```
>>M= load('dati.dat')
```

```
M =
```

1.0000	2.0000	-5.0000
2.0000	0.2500	-9.0000
3.0000	0.0740	-23.0000
4.0000	0.0310	-53.0000
5.0000	0.0160	-105.0000
6.0000	0.0090	-185.0000
7.0000	0.0050	-299.0000
8.0000	0.0030	-453.0000
9.0000	0.0020	-653.0000
10.0000	0.0020	-905.0000

Salvataggio e richiamo dati

Tutte le variabili definite o calcolate in una sessione di lavoro possono essere salvate mediante il comando `save`

```
>> save  
Saving to: Matlab.mat
```

```
% salva tutte le variabili nel  
% file Matlab.mat
```

```
>> save prova
```

```
% salva nel file prova.dat
```

Salvataggio e richiamo dati

Per salvare soltanto alcuni valori (per esempio una tabella di dati) e non tutta la sessione di lavoro si utilizza il comando `save` con la sintassi

`save nomefile variabili formato`

formato è un parametro opzionale.

Il formato `-ascii` consente di salvare il file in modalità testo; se tale parametro è omissso il file viene salvato in formato binario.

Se *nomefile* è privo di estensione, allora il file viene automaticamente salvato con l'estensione `.mat`

Salvataggio e richiamo dati

Esempio:

```
% salvatabella.m
```

```
n=input('fornisci il numero dei valori:');
```

```
x=linspace(0,pi,n);
```

```
s=sin(x);
```

```
c=cos(x);
```

```
v=(1:n);
```

```
save tabella.dat v x s c -ascii
```

Salvataggio e richiamo dati

Per visualizzare una tabella di valori precedentemente salvata con il comando `save` si utilizza il comando `load`

`load nomefile formato`

Il formato `-ascii` è obbligatorio se `nomefile` è privo di estensione.

`% veditabella.m`

```
load tabella.dat
```

```
A=tabella;
```

```
disp('-----');
```

```
fprintf('k\t x(k)\t sin(x(k))\t cos(x(k))\n');
```

```
disp('-----');
```

```
fprintf('%d\t %3.2f\t %8.5f\t %8.5f\n',A);
```

Operazioni vettoriali e matriciali

Le operazioni elementari, che si eseguono tra scalari, si estendono in modo del tutto naturale ai vettori e alle matrici, con alcune eccezioni per moltiplicazione ed elevamento a potenza.

Dati i vettori $a = a_i$ e $b = b_i$, $i = 1, \dots, n$:

$$c = a + b \iff c_i = a_i + b_i \quad i = 1, \dots, n$$

$$d = a - b \iff d_i = a_i - b_i \quad i = 1, \dots, n$$

$$e = a * \sigma \iff e_i = a_i * \sigma \quad i = 1, \dots, n$$

$$f = a / \sigma \iff f_i = a_i / \sigma \quad i = 1, \dots, n$$

$$g = a \pm \sigma \iff g_i = a_i \pm \sigma \quad i = 1, \dots, n$$

Operazioni vettoriali e matriciali

Per poter eseguire questo tipo di operazioni è essenziale che gli operandi siano dello stesso tipo e abbiano le **stesse dimensioni**. Unica eccezione a questa regola è data dal caso in cui uno dei due operandi è uno **scalare**. In questo caso è infatti possibile eseguire una qualunque operazione, puntuale e non, in quanto lo scalare viene trattato come una variabile dello **stesso tipo** e delle **stesse dimensioni** dell'altro operando, avente tutte le componenti costanti.

Operazioni tra vettori addizione e sottrazione

```
>>a=[1:4];      % length(a)=4
```

```
>>b=[1:3];      % length(b)=3
```

```
>>c=[4:-1:1];  % length(c)=4
```

```
>>a+c
```

```
ans =
```

```
    5    5    5    5
```

```
>>a+b
```

```
??? Error using ==> +
```

```
Matrix dimensions must agree.
```

Operazioni tra vettori

vettore + costante

```
>> % vettore
```

```
>> v = [1, 2, 3, 4]
```

```
v =
```

```
    1    2    3    4
```

```
>> % vettore + costante = tutti gli elementi  
    sono aumentati della costante
```

```
>> v = v+3
```

```
v =
```

```
    4    5    6    7
```

Operazioni tra vettori

vettore - costante

```
>> % vettore
```

```
>> v = [1, 2, 3, 4]
```

```
v =
```

```
    1    2    3    4
```

```
>> % vettore - costante = tutti gli elementi  
sono diminuiti della costante
```

```
>> v = v-3
```

```
v =
```

```
   -2   -1    0    1
```

Operazioni tra vettori

vettore * costante

```
>> % vettore
```

```
>> v = [1, 2, 3, 4]
```

```
v =
```

```
1    2    3    4
```

```
>> % vettore * costante = tutti gli elementi  
sono moltiplicati per la costante
```

```
>> v = v*3
```

```
v =
```

```
3    6    9   12
```

Operazioni tra vettori vettore / costante

```
>> % vettore
```

```
>> v = [1, 2, 3, 4]
```

```
v =
```

```
    1    2    3    4
```

```
>> % vettore / costante = tutti gli elementi  
    sono divisi per la costante
```

```
>> v = v/3
```

```
v =
```

```
    0.3333    0.6667    1.0000    1.3333
```

Operazioni vettoriali, matriciali e puntuali

Si possono definire nel caso dei vettori e delle matrici le cosiddette **operazioni puntuali**, che agiscono direttamente sui singoli elementi.

Tali operazioni si ottengono **premettendo il punto** al simbolo che identifica l'operazione.

Operazioni vettoriali, matriciali e puntuali

Si possono definire nel caso dei vettori e delle matrici le cosiddette **operazioni puntuali**, che agiscono direttamente sui singoli elementi.

Tali operazioni si ottengono **premettendo il punto** al simbolo che identifica l'operazione.

Operazioni vettoriali, matriciali e puntuali

Dati i vettori $x=x_i$ e $y=y_i$, $i = 1, \dots, n$ e le matrici $A=a_{i,j}$ e $B=b_{i,j}$ $i,j = 1, \dots, n$ si definiscono le seguenti operazioni puntuali:

$$z = x.*y \quad \Leftrightarrow \quad z_i = x_i * y_i \quad i = 1, \dots, n$$

$$z = x./y \quad \Leftrightarrow \quad z_i = x_i / y_i \quad i = 1, \dots, n$$

$$z = x.^y \quad \Leftrightarrow \quad z_i = x_i ^ y_i \quad i = 1, \dots, n$$

$$C = A.*B \quad \Leftrightarrow \quad C_{i,j} = a_{i,j} * b_{i,j} \quad i,j = 1, \dots, n$$

$$C = A./B \quad \Leftrightarrow \quad C_{i,j} = a_{i,j} / b_{i,j} \quad i,j = 1, \dots, n$$

$$C = A.^B \quad \Leftrightarrow \quad C_{i,j} = a_{i,j} ^ b_{i,j} \quad i,j = 1, \dots, n$$

Operazioni tra vettori

vettore .* vettore

```
>> % vettore
```

```
>> v = [1,2,3,4]; w = [2,3,4,5];
```

```
>> % vettore .* vettore = componente per  
componente  $y(i) = v(i)*w(i)$ 
```

```
>> y = v.*w
```

```
y =  
    2     6    12    20
```

Operazioni tra vettori

vettore ./ vettore

```
>> v = [1,2,3,4]; w = [2,3,4,5];
```

```
>> % vettore ./ vettore = divisione puntuale a  
destra y(i) = v(i)/w(i)
```

```
>> y = v./w
```

```
y =
```

```
0.5000    0.6667    0.7500    0.8000
```

```
>> % vettore .\ vettore = divisione puntuale a  
sinistra y(i) = v(i)\w(i)
```

```
>> y = v.\w (4\1=0.25=1/4 )
```

```
y =
```

```
2.0000    1.5000    1.3333    1.2500
```

Operazioni tra vettori

vettore .^ vettore

```
>> % vettore
```

```
>> v = [1,2,3,4]; w = [2,3,4,5];
```

```
>> % vettore .^ vettore = componente per  
componente  $y(i) = v(i)^w(i)$ 
```

```
>> y = v.^w
```

```
y =
```

1

8

81

1024

Operazioni tra matrici addizione e sottrazione

Le stesse operazioni possono essere applicate nel caso di vettori colonna o più in generale nel caso di matrici.

E' essenziale che gli operandi siano dello stesso tipo e abbiano le stesse dimensioni.

Operazioni tra matrici

```
>> A=[-6 4 -6; -12 8 12; -18 12 18; 2 3 4]
```

```
A =
```

```
    -6         4        -6  
   -12        8        12  
   -18       12       18  
     2         3         4
```

```
>> A=2*A
```

```
A =
```

```
   -12         8       -12  
   -24        16       24  
   -36       24       36  
     4         6         8
```

Operazioni tra matrici

```
>> B=A/2
```

```
A =
```

```
   -6     4    -6  
  -12     8    12  
  -18    12    18  
    2     3     4
```

```
>> C=A + B
```

```
C =
```

```
  -18    12   -18  
  -36    24    36  
  -54    36    54  
    6     9    12
```

Operazioni tra matrici

```
>> A = [1 2 3 4; 5 6 7 8];
```

```
>> B = [8 7 6 5; 4 3 2 1];
```

```
>> A.*B
```

```
ans =
```

```
     8    14    18    20
    20    18    14     8
```

```
>> A*B
```

```
??? Error using => *
```

```
Inner matrix dimensions must agree.
```

Operazioni tra vettori prodotto interno

Prodotto interno tra due vettori:

$$\sigma = x \cdot y \iff \sigma = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

x deve essere **vettore riga**, y **vettore colonna**:
il risultato è uno scalare.

$$\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3 + x_4 y_4$$

Operazioni tra vettori: prodotto esterno

Prodotto esterno tra due vettori:

$$A = u^T v \iff a_{i,j} = u_i v_j$$

u deve essere **vettore colonna**, v **vettore riga**: il risultato è una matrice.

$$uv^T = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} [v_1 \quad v_2 \quad v_3 \quad v_4]$$
$$= \begin{bmatrix} u_1 v_1 & u_1 v_2 & u_1 v_3 & u_1 v_4 \\ u_2 v_1 & u_2 v_2 & u_2 v_3 & u_2 v_4 \\ u_3 v_1 & u_3 v_2 & u_3 v_3 & u_3 v_4 \\ u_4 v_1 & u_4 v_2 & u_4 v_3 & u_4 v_4 \end{bmatrix}$$

Operazioni tra vettori: prodotto esterno

Prodotto interno tra due vettori:

```
>> u = [10 9 8];           % u e v vettori riga
```

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

```
>> u'*v                    % prodotto esterno
```

```
ans =                       % il risultato è una matrice
```

```
10    20    30
 9    18    27
 8    16    24
```

Operazioni tra vettori: prodotto esterno

```
>> u = (0:4)';           % u e v vettori colonna
>> v = (4:-1:0)';
>> u'*v                  % prodotto interno

ans =                    % il risultato è uno scalare
    10

>> u*v
??? Error using => *
Inner matrix dimensions must agree.
```

Operazioni tra vettori: prodotto esterno

```
>> u = (0:4)';           % u e v vettori colonna
>> v = (4:-1:0)';
>> u*v'                  % prodotto esterno

ans =                    % il risultato è una matrice

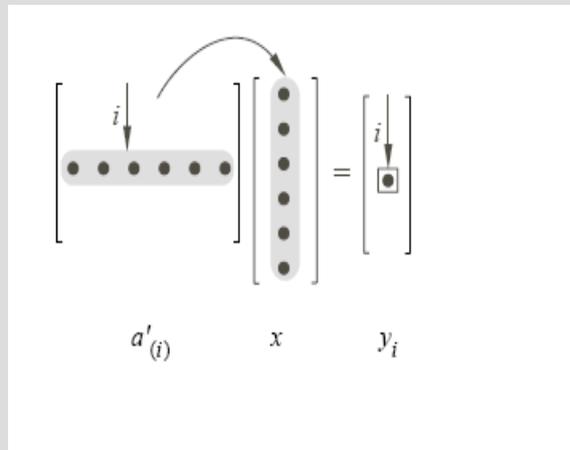
    0     0     0     0     0
    4     3     2     1     0
    8     6     4     2     0
   12     9     6     3     0
   16    12     8     4     0
```

Operazioni tra matrici: prodotto matrice-vettore

Prodotto matrice-vettore:

$$\begin{array}{rcl} A & x & = & b \\ [m \times n] & [n \times 1] & = & [m \times 1] \end{array}$$

E' richiesta **compatibilità** nelle dimensioni.



Operazioni tra matrici: prodotto matrice-vettore

```
>> A = [1 2 3 4; 5 6 7 8];      % size(A)=[2 4]
```

```
>> x = [6 2 8 3]';           % size(x)=[4 1]
```

```
>> A*x
```

```
ans =
```

```
46
```

```
122
```

```
>> x*A
```

```
??? Error using => *
```

```
Inner matrix dimensions must agree.
```

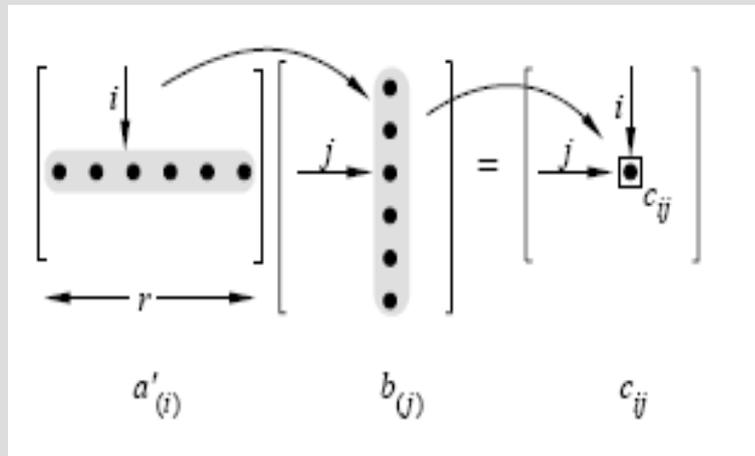
Operazioni tra matrici prodotto matrice-matrice

Prodotto matrice-matrice:

$$\begin{array}{ccc} A & B & = & C \\ [m \times r] & [r \times n] & = & [m \times n] \end{array}$$

$$A*B \neq B*A$$

E' richiesta **compatibilità** nelle dimensioni.



Operazioni tra matrici

```
>> A = [1 2 3 4; 5 6 7 8]; % size(A)=[2 4]
```

```
>> B = [8 7 6 5; 4 3 2 1]; % size(B)=[2 4]
```

```
>> A.*B % prodotto puntuale
```

```
ans =
```

```
8 14 18 20
20 18 14 8
```

```
>> A*B % prodotto tra matrici non
% compatibili
```

```
??? Error using => *
```

```
Inner matrix dimensions must agree.
```

Operazioni tra matrici

```
>> A = [1 2 3 4; 5 6 7 8];      % size(A)=[2 4]
>> B = [8 7 6 5; 4 3 2 1];    % size(B')=[4 2]
```

```
>> A*B'                          % prodotto tra matrici
                                   % compatibili
```

```
ans =
```

```
    60    20
   164    60
```

Elementi di grafica

Uno dei punti di forza di MatLab è la sua **capacità grafica** che consente di rappresentare dati memorizzati in vettori e matrici in molti modi differenti.

In MatLab è possibile utilizzare comandi per grafica 2D e 3D, esistono inoltre comandi per creare delle animazioni.

Elementi di grafica

Per rappresentare graficamente una funzione della variabile x si utilizza il comando **fplot**:

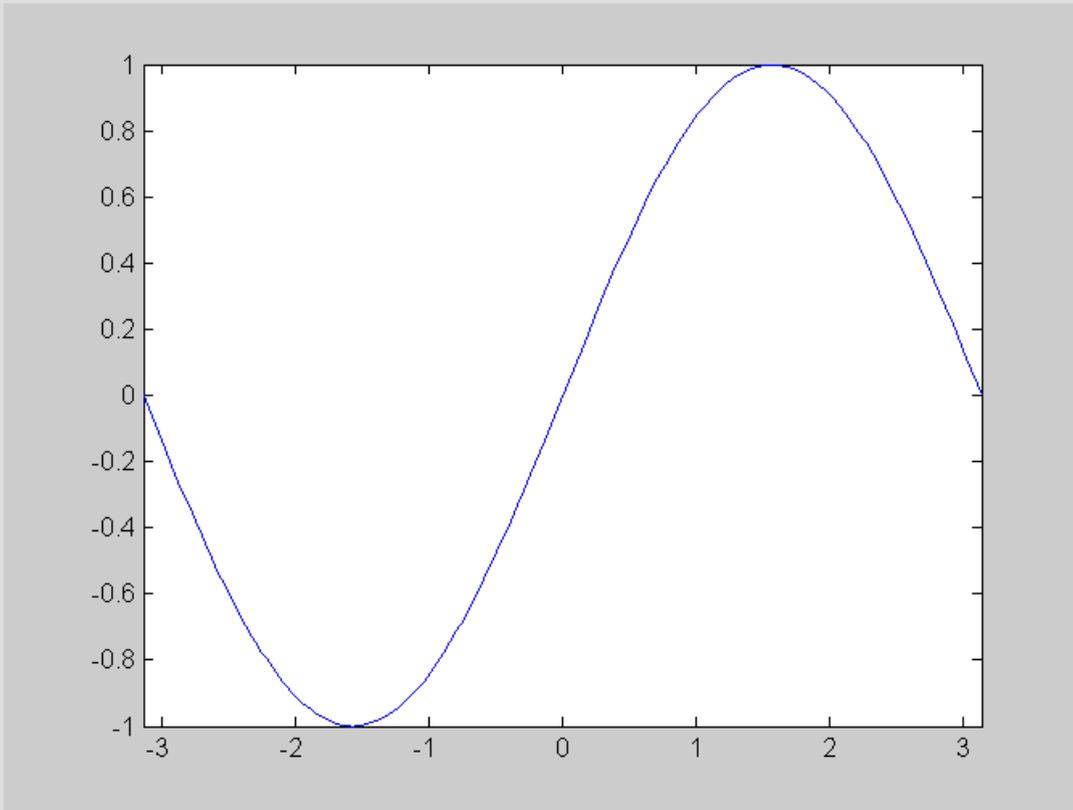
```
fplot('fun',[xmin xmax])
```

fun è l'espressione della funzione che si vuole rappresentare

[xmin,xmax] è un vettore che ha per componenti gli estremi dell'intervallo di rappresentazione sull'asse x .

Elementi di grafica

```
>> fplot('sin(x)',[-pi,pi]);
```



% grafico di $\sin(x)$ in $[-\pi, \pi]$ mediante fplot

Elementi di grafica

Alternativamente si può definire un vettore x di punti dell'asse x , determinare il vettore y contenente le valutazioni della funzione che si vuole rappresentare nei punti di x e quindi utilizzare il comando `plot(x,y)`.

Esempio

```
>>x=[-pi:0.5:pi];
```

```
>>y=sin(x);
```

```
>>plot(x,y)
```

Elementi di grafica

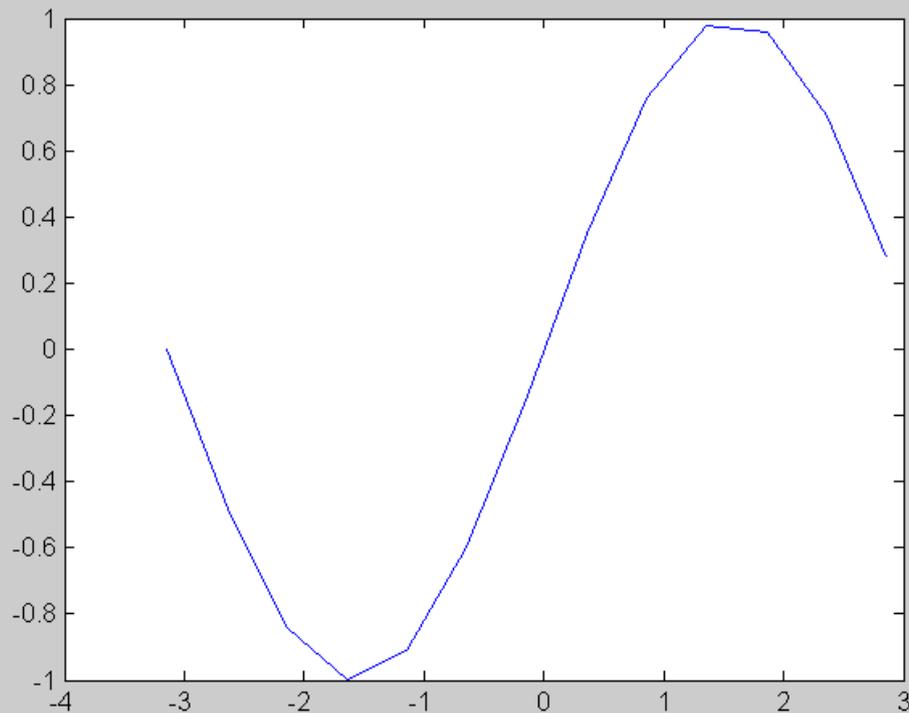


grafico di $\sin(x)$ in $[-\pi, \pi]$ mediante plot con passo 0.5

In questo modo si ottiene una rappresentazione grafica della spezzata congiungente i punti (x_i, y_i) . Ovviamente diminuendo il passo, ovvero aumentando il numero dei punti, i segmenti di raccordo sono così piccoli da avere l'impressione di una linea continua.

Elementi di grafica

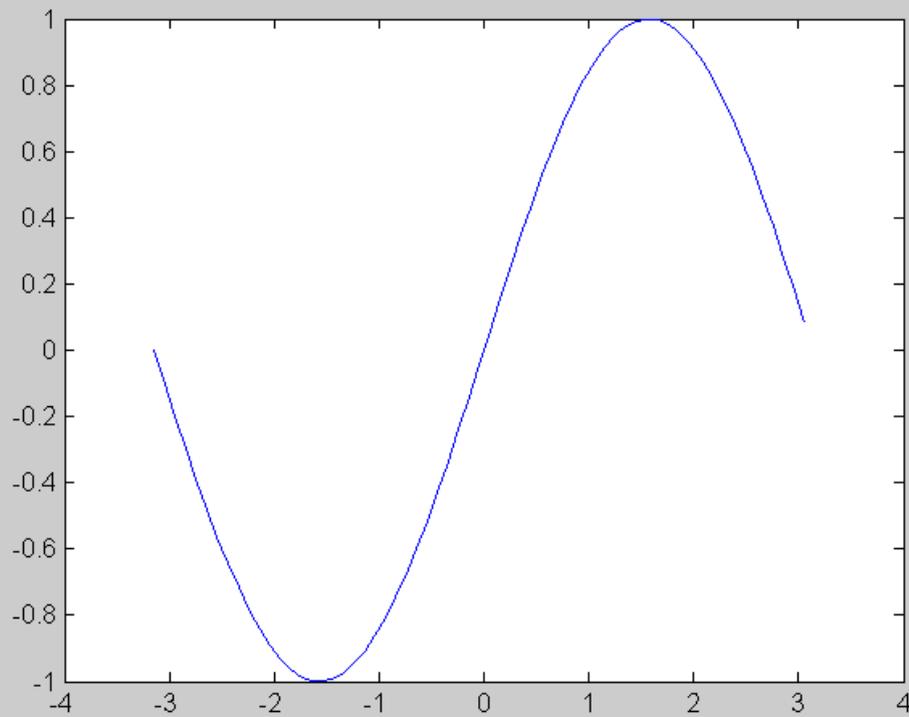


grafico di $\sin(x)$ in $[-\pi, \pi]$ mediante plot con passo 0.1

Elementi di grafica

La sintassi è

```
plot(vettorex, vettorey, 'opzioni')
```

vettorex e *vettorey* sono i vettori di dati
(rispettivamente ascisse e ordinate dei punti)

opzioni è una stringa opzionale che definisce il
tipo di colore, di simbolo e di linea che si
vogliono usare nel grafico.

Elementi di grafica

Alcune delle possibili opzioni:

Color		Symbols		Line			
y	yellow	.	point	^	triangle (up)	-	solid
m	magenta	o	circle	<	triangle (left)	:	dotted
c	cyan	x	x-mark	>	triangle (right)	-.	dashdot
r	red	+	plus	p	pentagram	--	dashed
g	green	*	star	h	hexagram		
b	blue	s	square				
w	white	d	diamond				
k	black	v	triangle (down)				

Elementi di grafica

```
>>x=[-pi:0.1:pi];
```

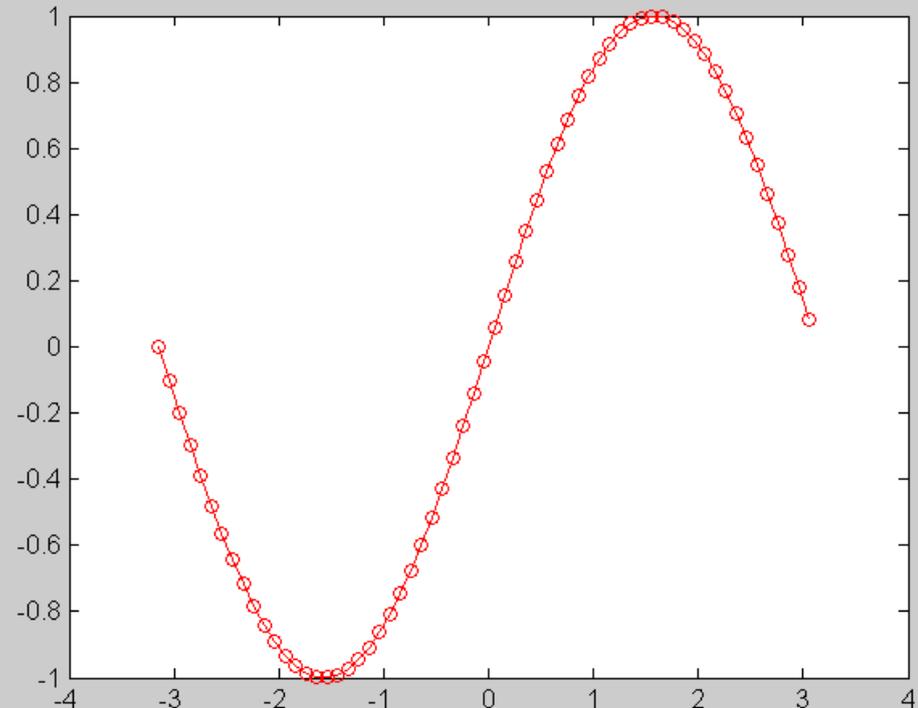
```
>>y=sin(x);
```

```
>>plot(x,y,'-or')
```

% linea '-' continua

% marcatore 'o' cerchi

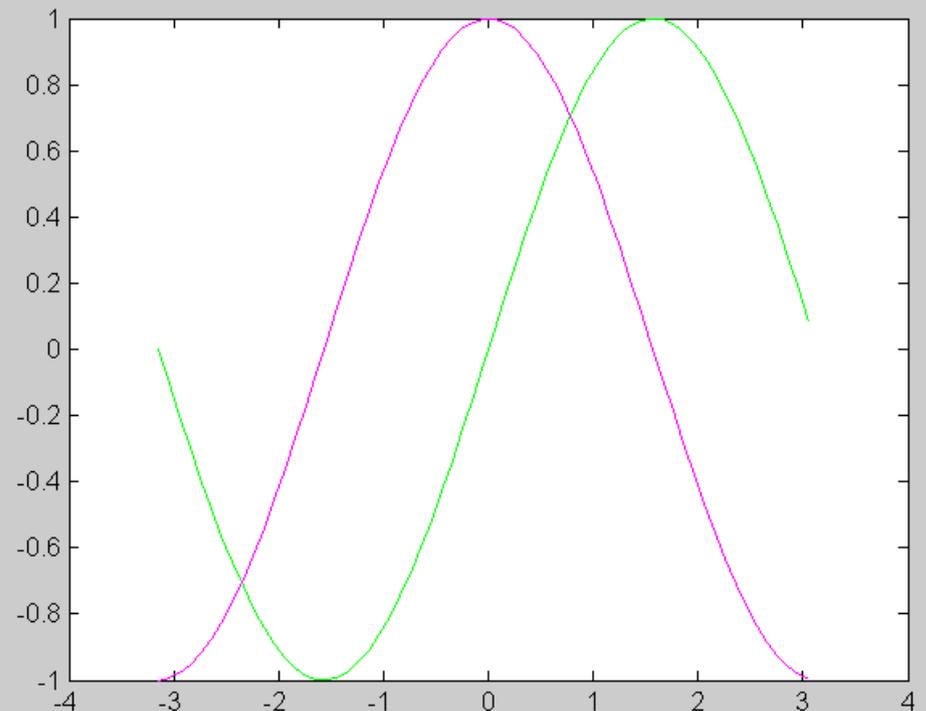
% colore 'r' rosso



Elementi di grafica

```
>>x=[-pi:0.1:pi];  
>>y1=sin(x); y2=cos(x);  
>>plot(x,y1,'g',x,y2,'m')
```

% linea continua
% colore 'g' green
% colore 'm' magenta

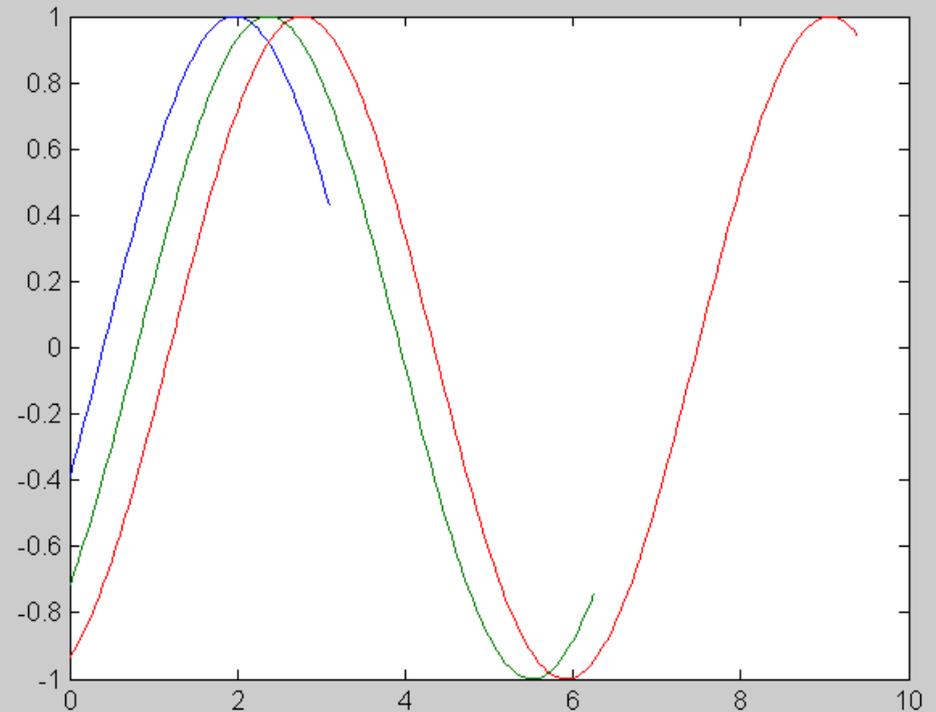


Elementi di grafica

Si possono creare **grafici multipli** con una singola chiamata; MatLab automaticamente traccia i diversi grafici attraverso un predefinito elenco di colori che permette di distinguere ciascuna funzione.

Elementi di grafica

```
>>x1 = 0:0.05:pi; x2 = 0:0.05:2*pi; x3 =0:0.05:3*pi;  
>>y1=sin(x1 - .4); y2 =sin(x2 - .8); y3 =sin(x3 -1.2);  
>>plot(x1, y1, x2, y2, x3, y3)
```



Esempio visualizzazione funzione

```
>> % Creazione vettore x
```

```
>> x = linspace(0,10,6);
```

```
>> % Def. funzione  $y = 2*x*exp(-x)$ 
```

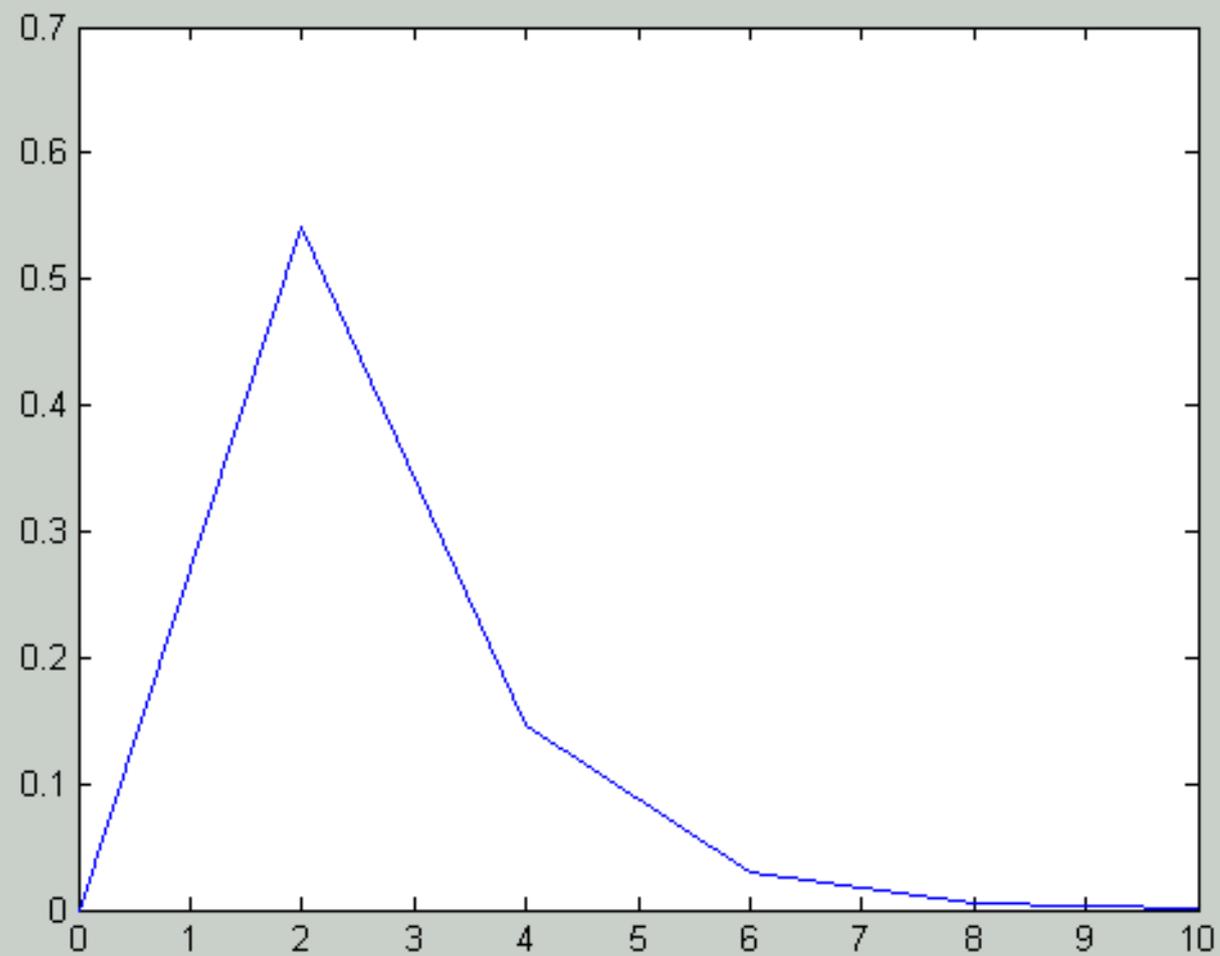
```
>> y = 2*x .*exp(-x);           % prodotto puntuale
```

```
>> % Visualizzazione funzione
```

```
>> plot(x,y);
```

x è un vettore, si vuole calcolare $y_i = 2x_i \exp(-x_i)$ per ogni i , quindi si devono usare le operazioni puntuali '.'

Visualizzazione



Esempio visualizzazione funzione

Lo stesso grafico si ottiene nei seguenti modi:

```
>> fplot('2*x .*exp(-x)',[0,10]);
```

```
>> x = linspace(0,10,6);
```

```
>> f='2*x .*exp(-x)'      % dichiara funzione
```

```
>> y=eval(f)              % valuta la funzione
```

```
>> plot(x,y,'r')
```

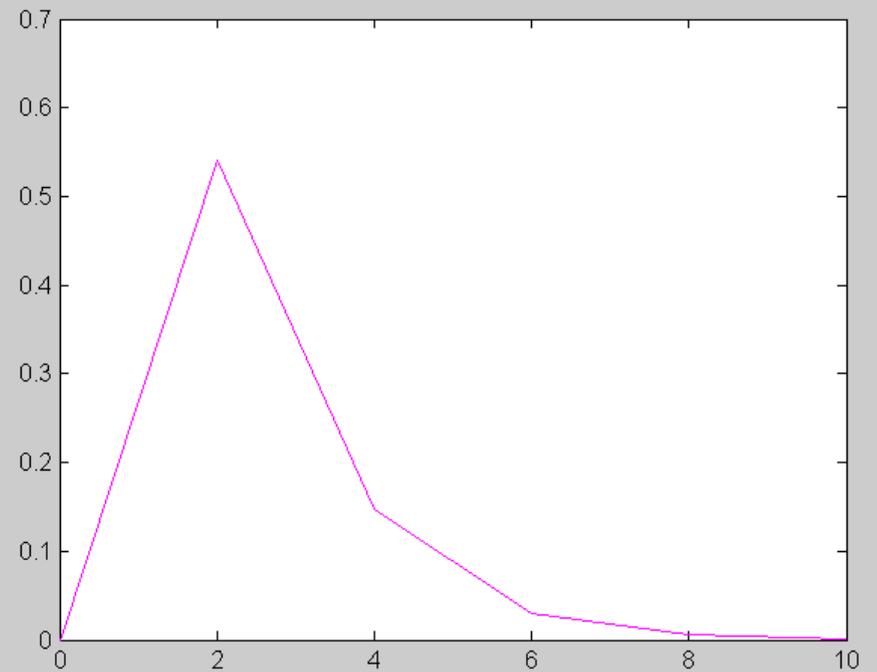
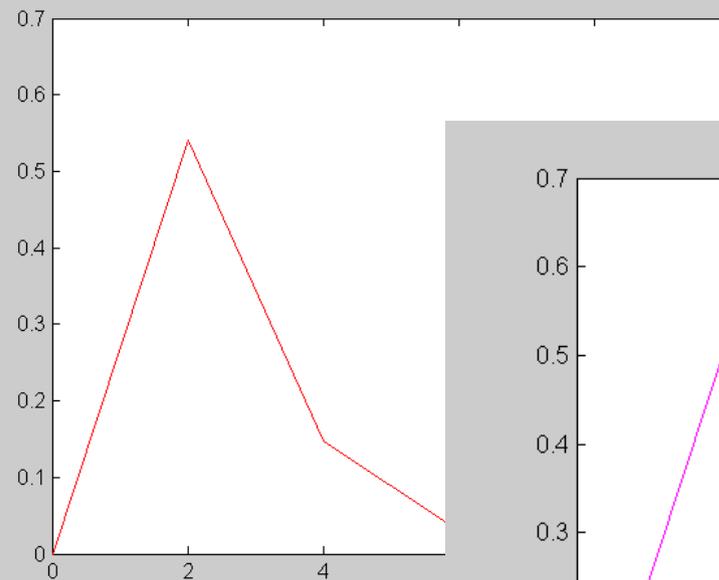
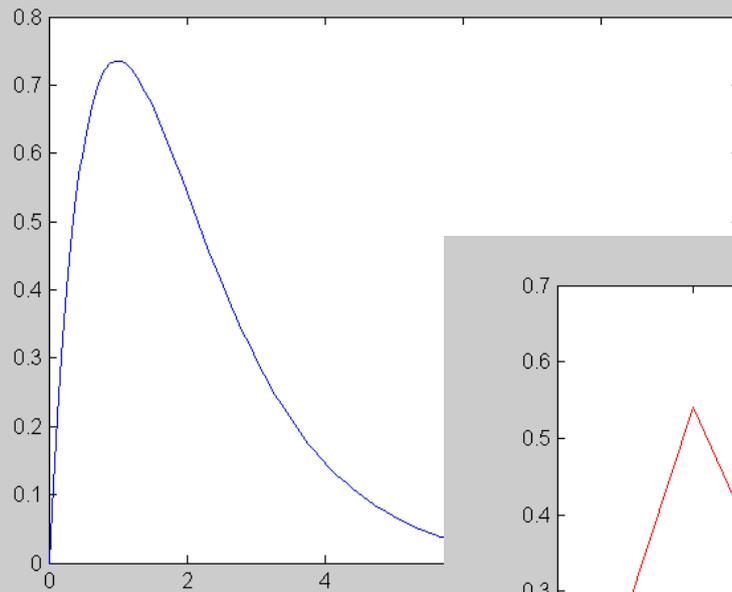
```
>> x = linspace(0,10,6);
```

```
>> f=inline('2*x .*exp(-x)') % dichiara funzione
```

```
>> y=feval(f,x);          % valuta la funzione in x
```

```
>> plot(x,y,'m')
```

Visualizzazione funzione



Esempio

- Generare un vettore x tra -5.0 e 5.0 di 101 elementi equispaziati
- Disegnare le seguenti 2 funzioni:
(chiamare rispettivamente i vettori delle soluzioni y_1 e y_2)

$$y_1 = \frac{1}{x^2 + 1} \quad y_2 = \sin(x * \exp(-|x|))$$

Esempio

```
>> % Creazione vettore x
```

```
>> x = linspace(-5,5,101);
```

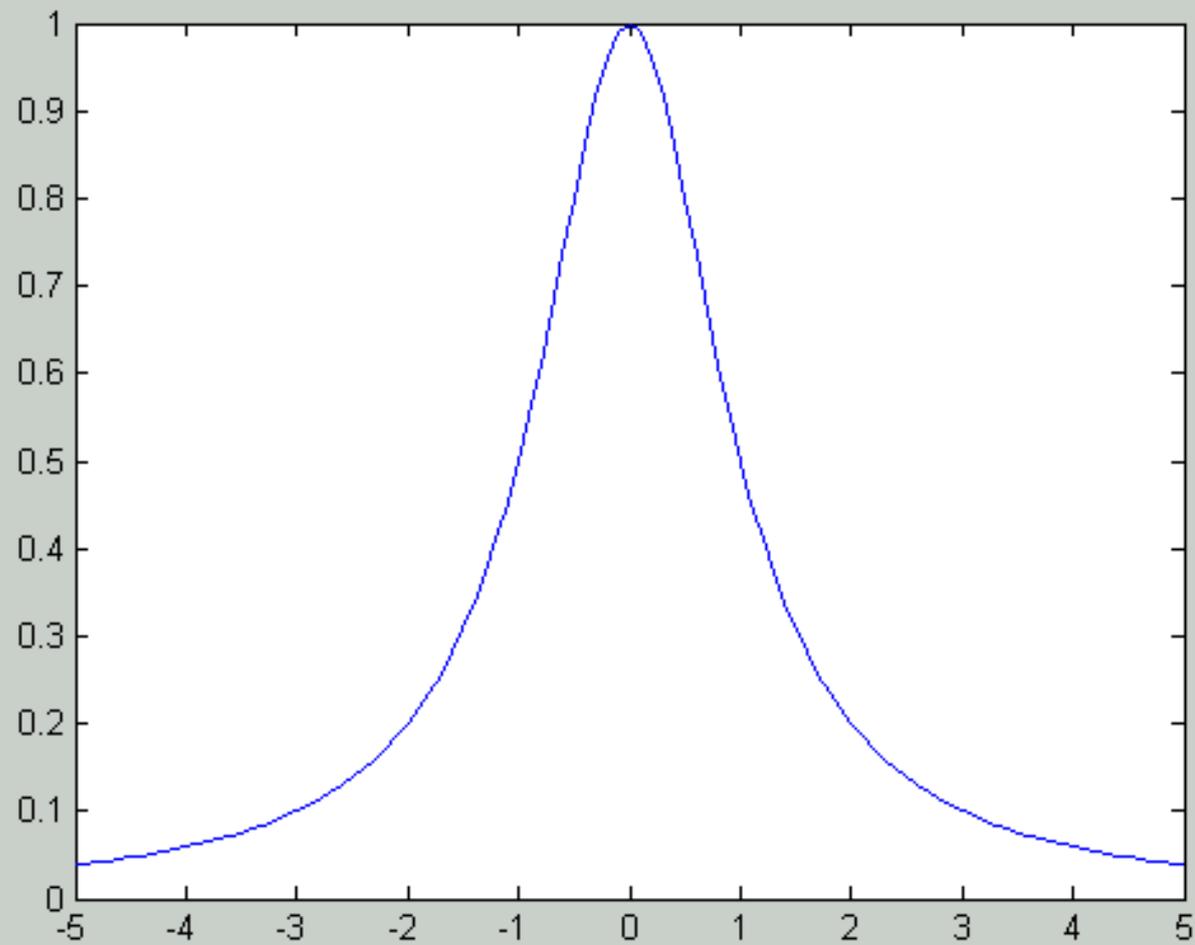
```
>> % Definizione funzione y1
```

```
>> y1 = 1./(x.^2+1);
```

```
>> % Visualizzazione funzione y1
```

```
>> plot(x,y1);
```

Esempio



Esempio

```
>> % Creazione vettore x
```

```
>> x = linspace(-5,5,101);
```

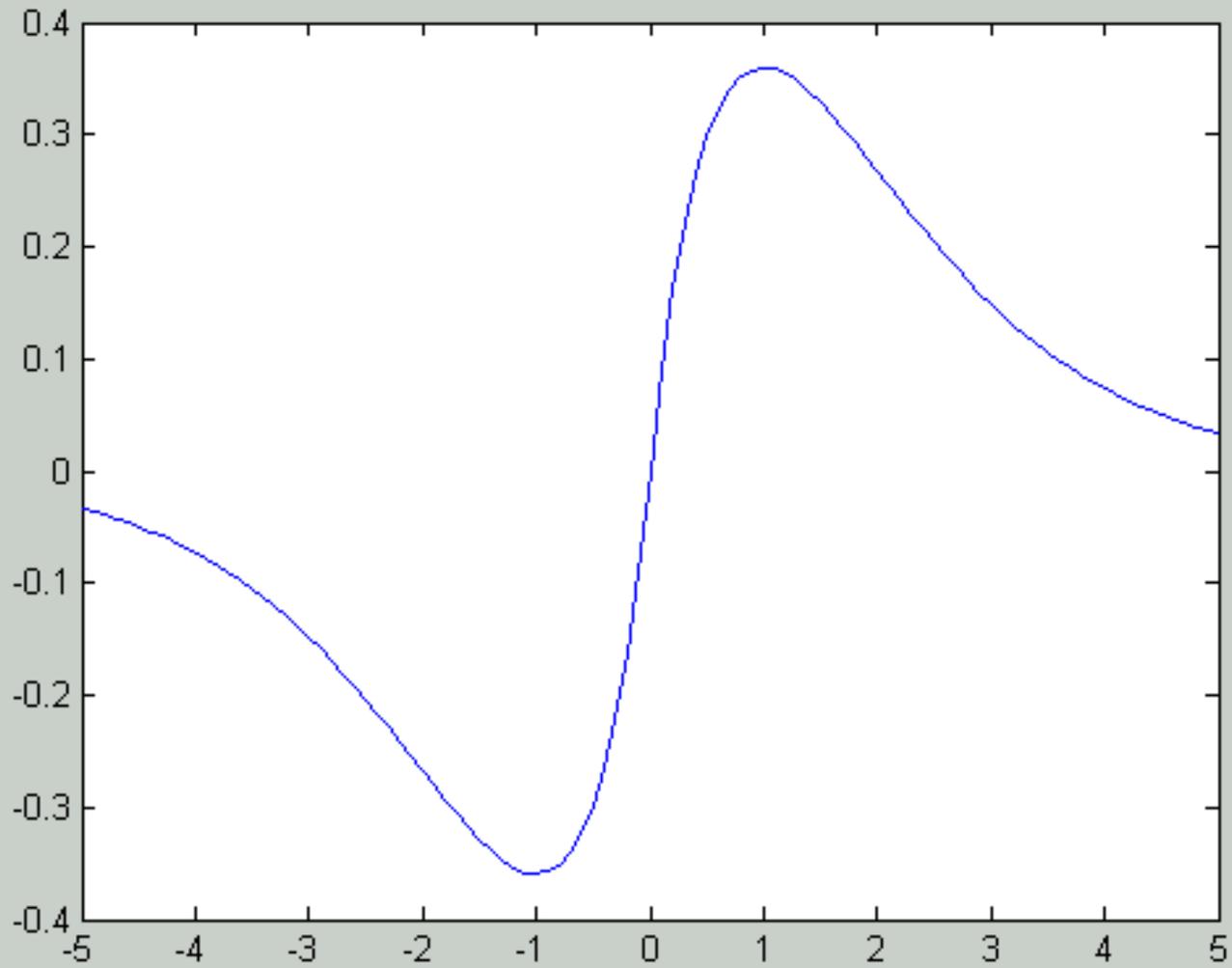
```
>> % Definizione funzione y2
```

```
>> y2 = sin(x.*exp(-abs(x)));
```

```
>> % Visualizzazione funzione y2
```

```
>> plot(x,y2);
```

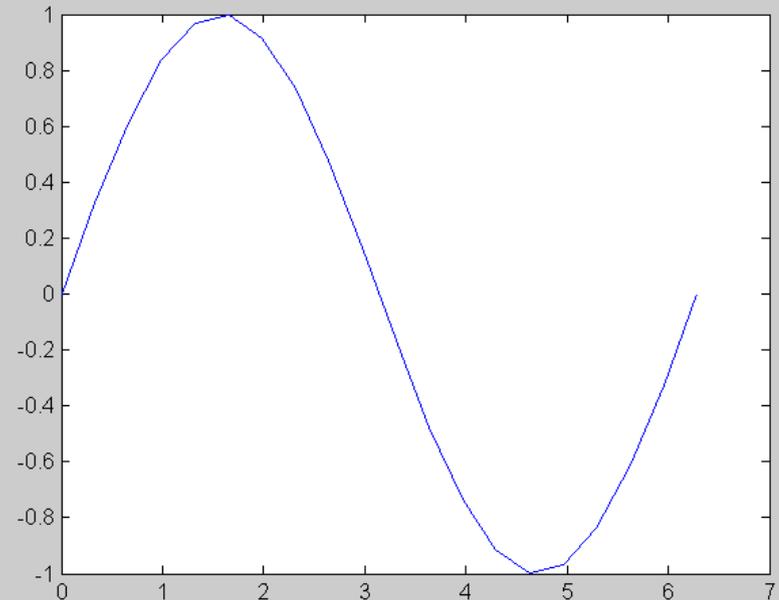
Esempio



Creare grafici caricando dati da file esterno

```
>>x = linspace(0,2*pi,20)';  
>>y = sin(x); z = cos(x);  
>>A = [x y z]  
>> % salva nel file risA  
>>save risA A  
>> % cancello i dati  
>>clear
```

```
>>load risA  
>>xdata=A(:,1);  
>>ydata=A(:,2);  
>>zdata=A(:,3);  
>>plot(xdata,ydata)
```



Visualizzazione avanzata

- Titolo
- Etichette assi x e y
- Cambiare colore e forma ai grafici
- Più funzioni in una finestra
- Legenda
- Griglia
- Più finestre in contemporanea

Visualizzazione avanzata

Titolo-etichette assi

```
>> % Visualizzazione y2
```

```
>> plot(x,y2);
```

```
>> % Titolo
```

```
>> title('titolo della figura');
```

```
>> % Asse x
```

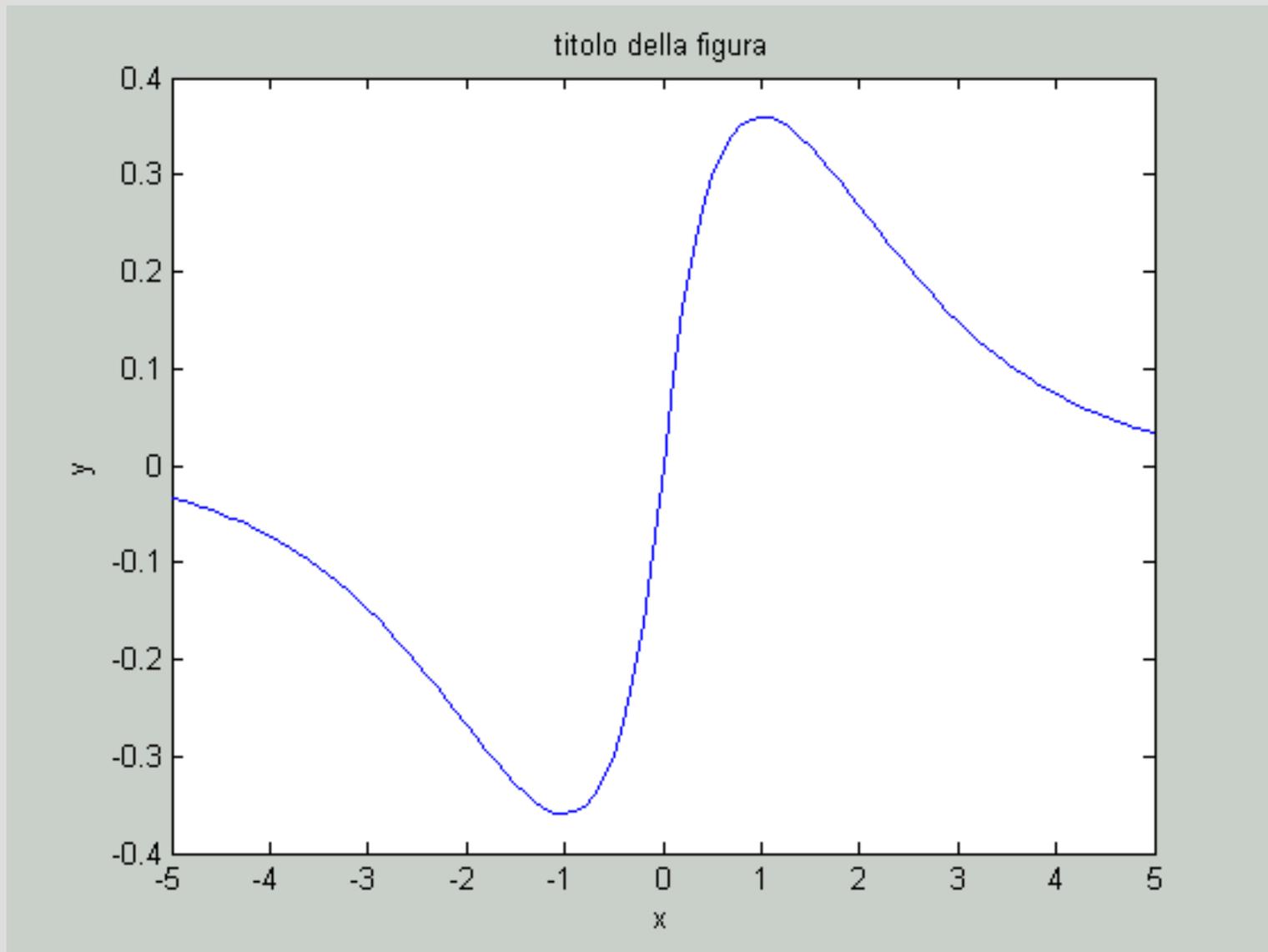
```
>> xlabel('x');
```

```
>> % Asse y
```

```
>> ylabel('y');
```

Visualizzazione avanzata

Titolo-etichette assi



Visualizzazione avanzata

COLORE

```
>> % y2 in colore rosso
```

```
>> plot(x,y2,'r');
```

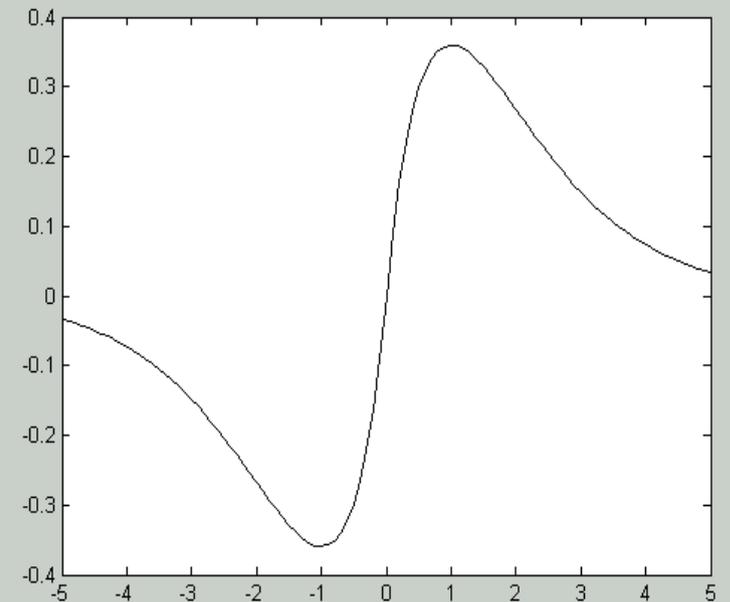
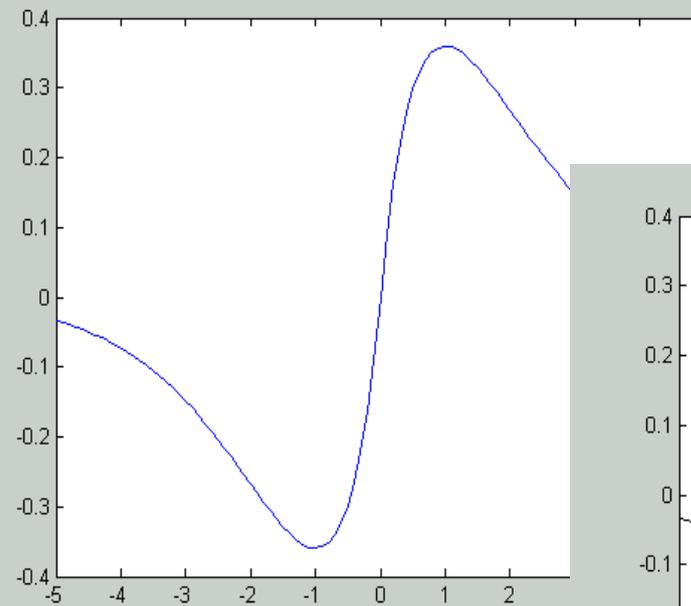
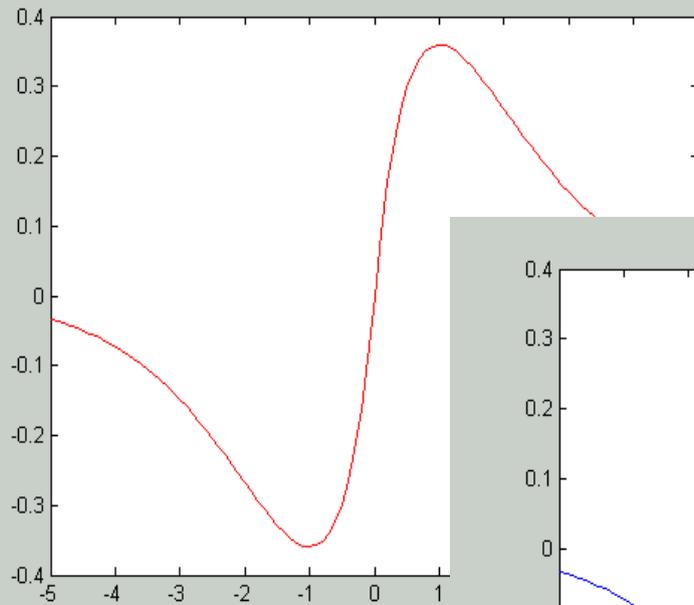
```
>> % y2 in colore blue
```

```
>> plot(x,y2,'b');
```

```
>> % y2 in colore nero
```

```
>> plot(x,y2,'k');
```

Visualizzazione avanzata COLORE



Visualizzazione avanzata

FORMA

>> % y2: linea continua rossa in cui i nodi sono evidenziati con dei cerchi

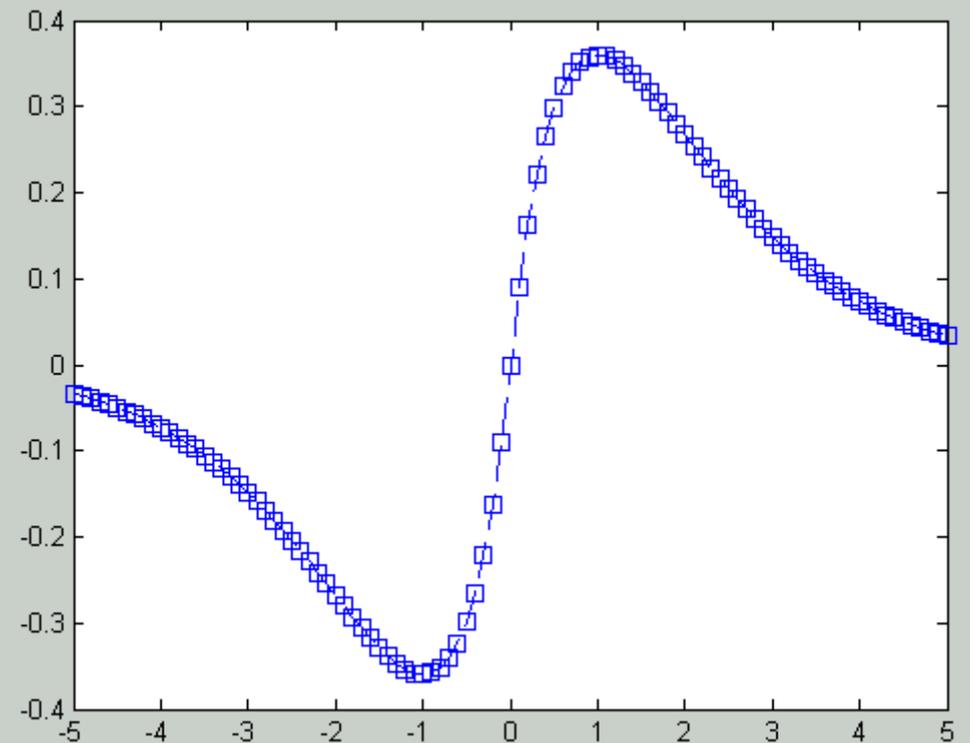
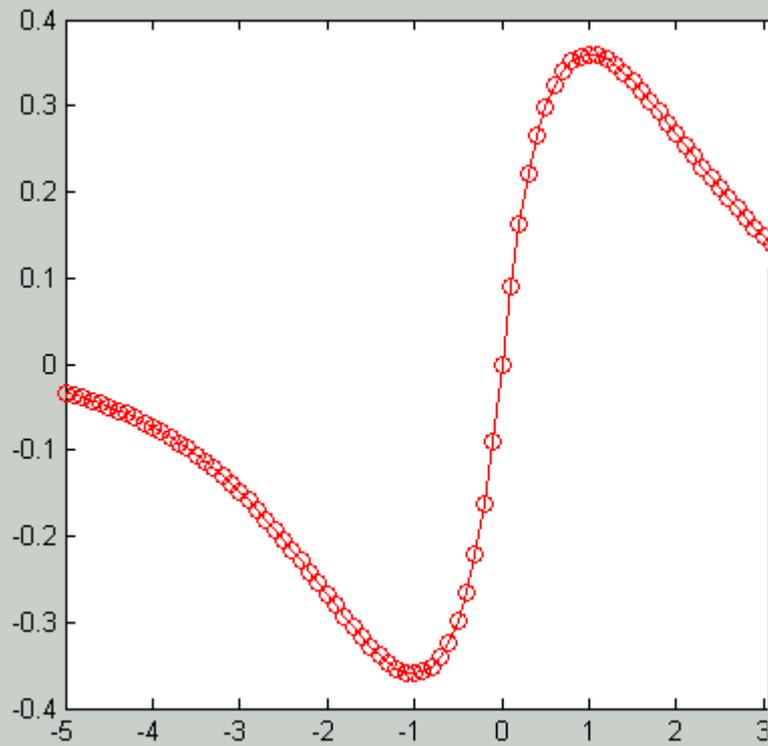
```
>> plot(x,y2,'ro-');
```

>> % y2: linea tratteggiata blu in cui i nodi sono evidenziati con dei quadrati

```
>> plot(x,y2,'bs--');
```

>> % maggiori info con `help plot`

Visualizzazione avanzata FORMA



Visualizzazione avanzata

Più funzioni in finestra

Visualizziamo y_1 e y_2 sulla stessa finestra

```
>> % Disegna y1
```

```
>> plot(x,y1,'r');
```

```
>> % Trattiene ambiente figura
```

```
>> hold on;
```

```
>> % Disegna y2
```

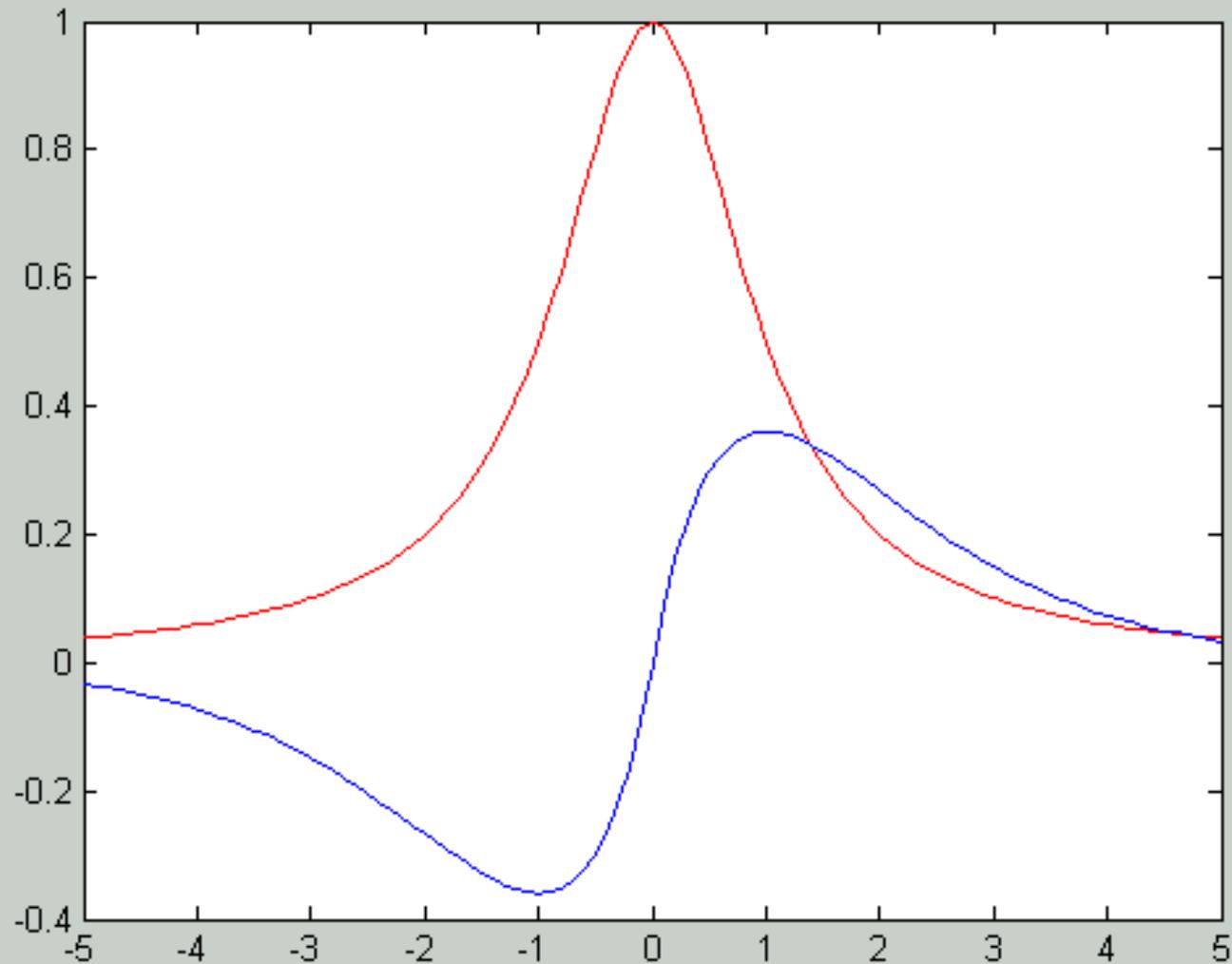
```
>> plot(x,y2,'b');
```

```
>> % Rilascia ambiente figura
```

```
>> hold off;
```

Visualizzazione avanzata

Più funzioni in finestra



Visualizzazione avanzata

Legenda e Griglia

```
>> % titolo, asse x, asse y
```

```
>> title('Grafici funzioni');
```

```
>> xlabel('Asse x');
```

```
>> ylabel('Asse y');
```

```
>> % Aggiungo la legenda
```

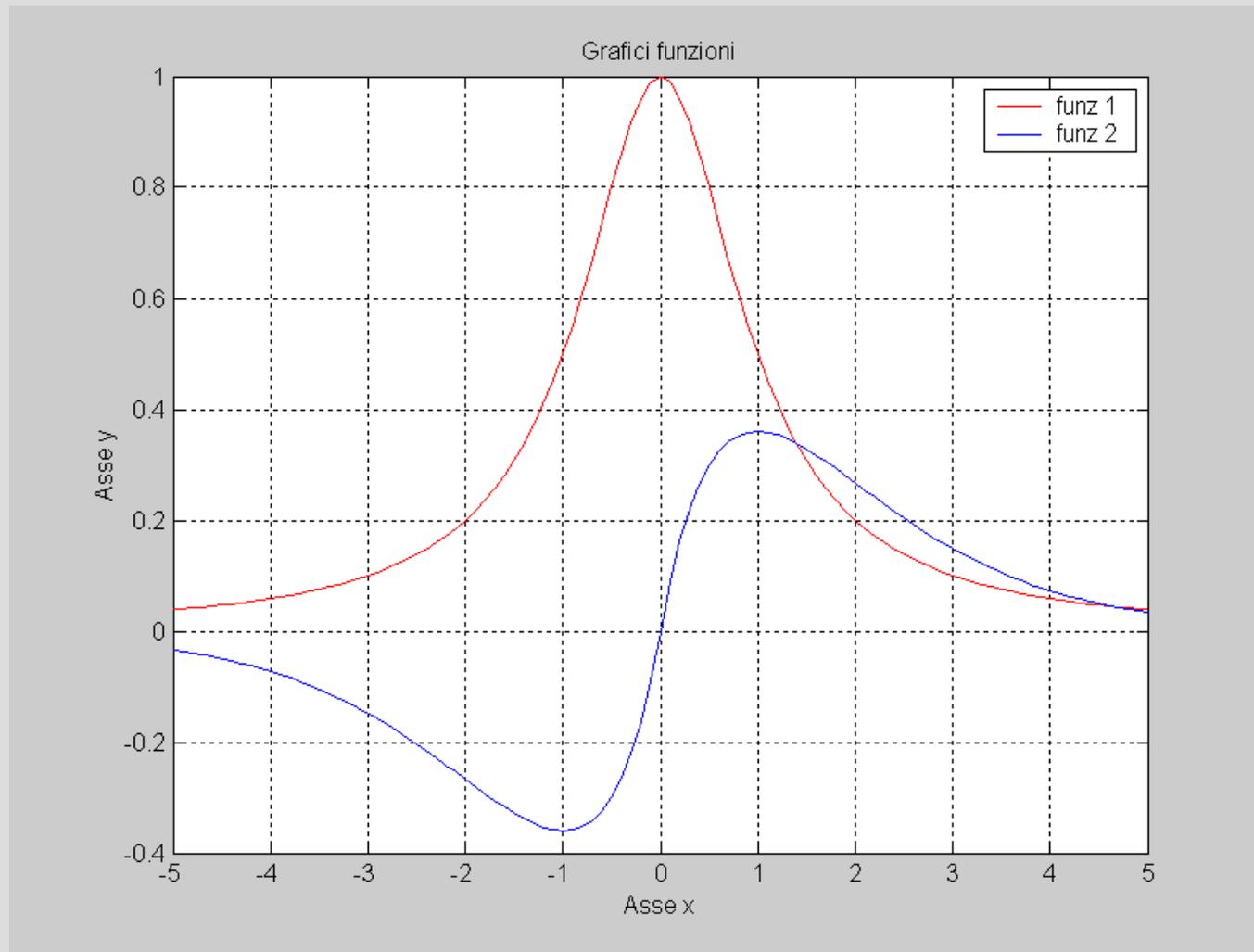
```
>> legend('funz 1','funz 2');
```

```
>> % Aggiungo la griglia
```

```
>> grid on;
```

Visualizzazione avanzata

Legenda



Visualizzazione avanzata PIÙ FINESTRE

```
>> % Si utilizza il comando figure con il  
numero della figura
```

```
>> % Attivo finestra 1
```

```
>> figure(1);
```

```
>> % Disegna y1
```

```
>> plot(x,y1,'r');
```

```
>> % Attivo finestra 2
```

```
>> figure(2);
```

```
>> % Disegna y2
```

```
>> plot(x,y2,'r');
```

Visualizzazione avanzata

Più finestre

Figure No. 1

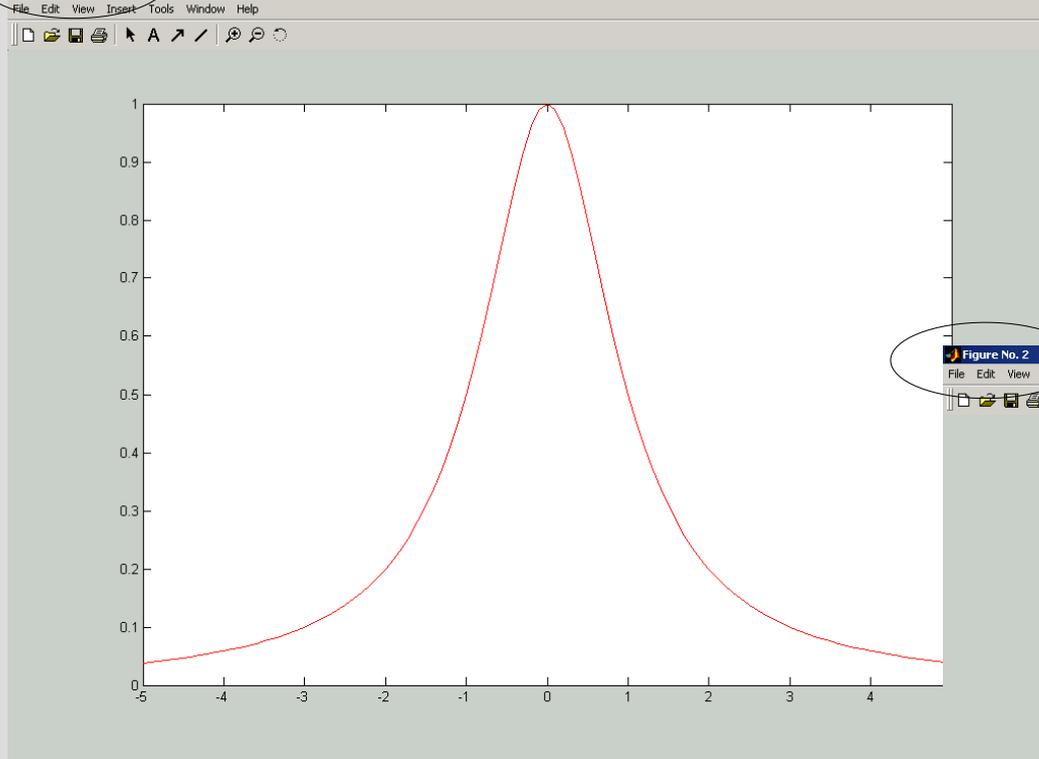
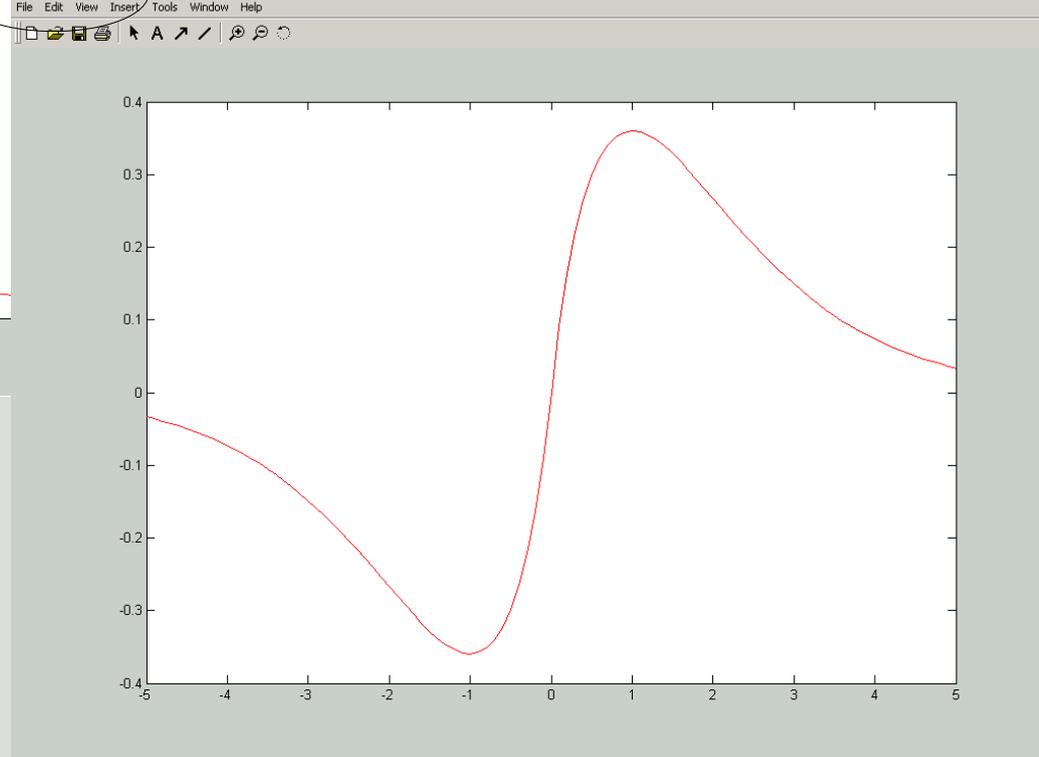


Figure No. 2



Comandi per la gestione di grafici

Funzione	Significato
<code>axis</code>	prescrive i valori minimi e massimi sugli assi x e y
<code>title</code>	inserisce un titolo nel grafico
<code>xlabel</code>	inserisce un nome per l'asse x
<code>ylabel</code>	inserisce un nome per l'asse y
<code>grid</code>	inserisce una griglia sugli assi x e y
<code>legend</code>	inserisce una legenda per identificare i diversi grafici
<code>text</code>	inserisce una stringa di testo in una posizione specificata

Visualizzazione avanzata PIÙ FINESTRE

Per disegnare diversi grafici separati in una stessa finestra si utilizza il comando `subplot`.

Con tale comando la finestra viene gestita come una matrice di sottofinestre; le sottofinestre vengono numerate a partire da sinistra verso destra e dall'alto verso il basso. La sintassi è:

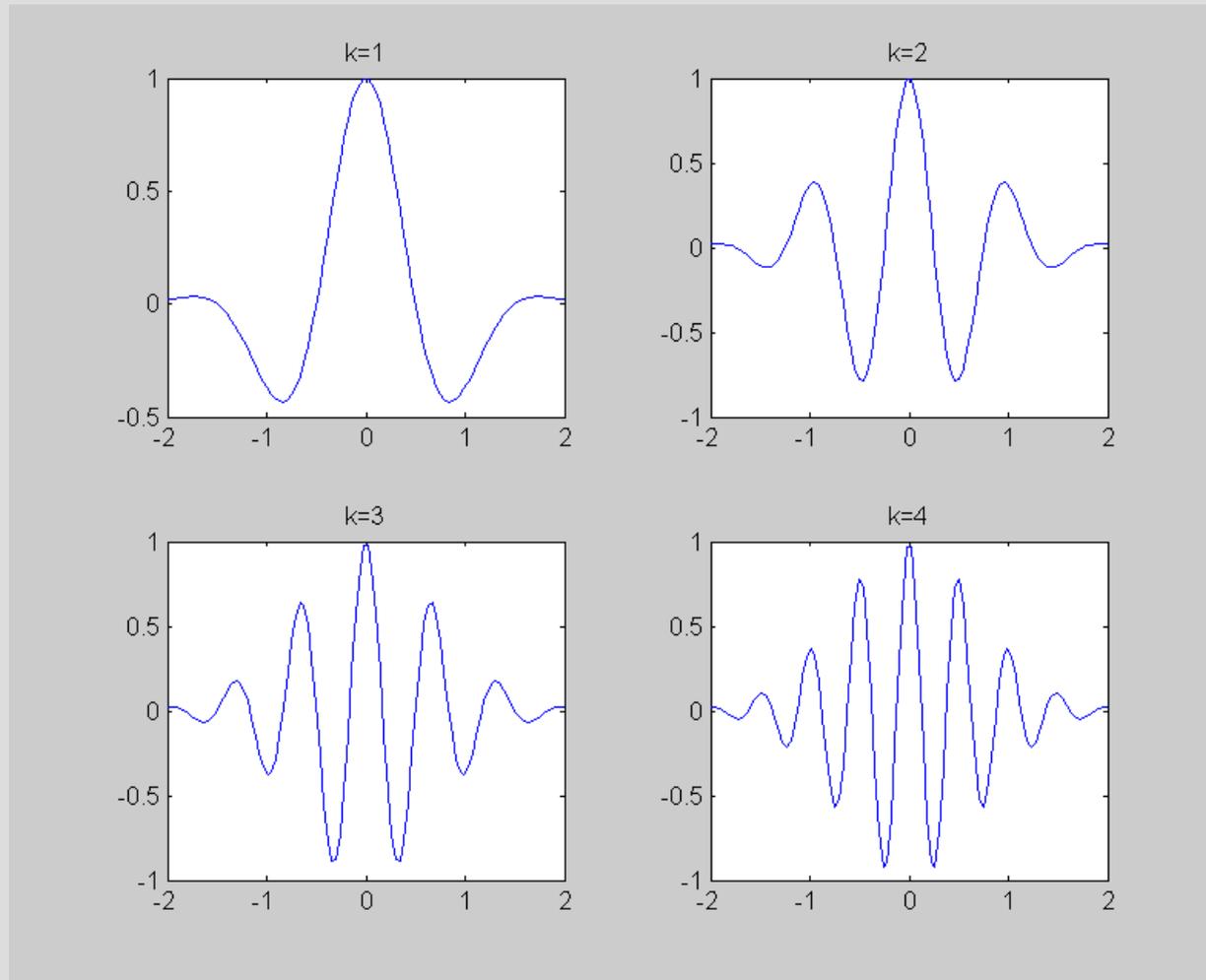
```
subplot(riga,colonna,numerosottofinestra)
```

dove `riga` e `colonna` indica la posizione all'interno della matrice in cui viene allocato il grafico indicato dal `numerosottofinestra`.

Visualizzazione avanzata subplot

```
>>x=linspace(-2,2);
>>y=exp(-x.^2).*cos(pi*x);
>>subplot(2,2,1);      % primo el. della matrice di sottofinestre 2x2
>>plot(x,y); title('k=1');
>>y=exp(-x.^2).*cos(2*pi*x);
>>subplot(2,2,2);      % secondo
>>plot(x,y); title('k=2');
>>y=exp(-x.^2).*cos(3*pi*x);
>>subplot(2,2,3);      % terzo
>>plot(x,y); title('k=3');
>>y=exp(-x.^2).*cos(4*pi*x);
>>subplot(2,2,4);      % quarto
>>plot(x,y); title('k=4');
```

Visualizzazione avanzata subplot

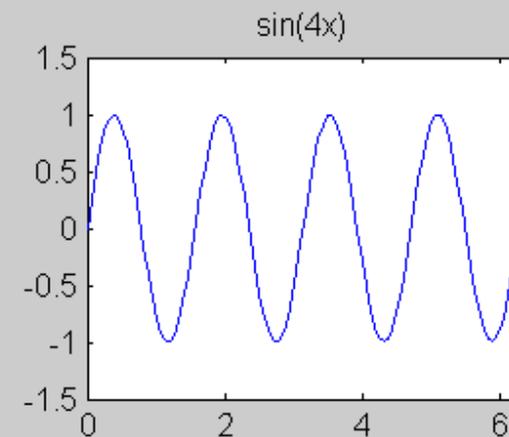
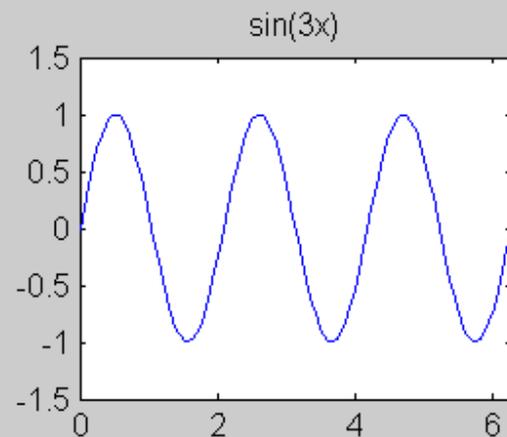
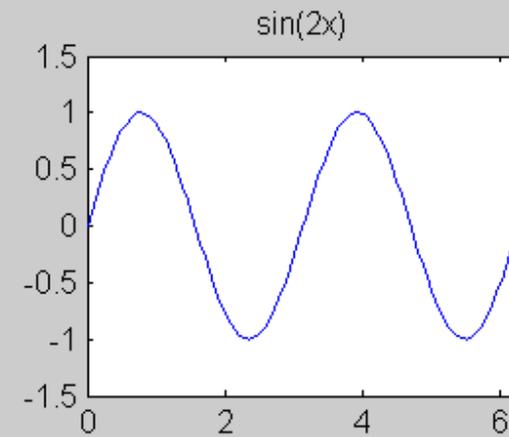
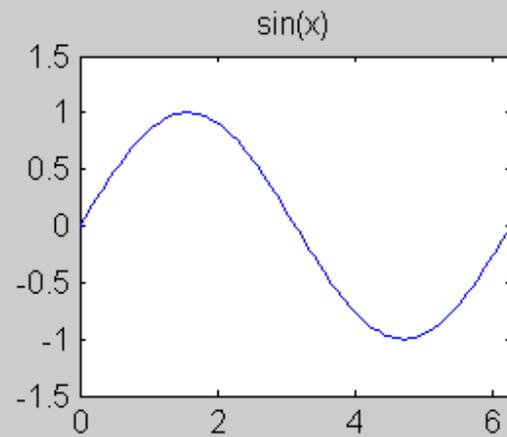


Visualizzazione avanzata PIÙ FINESTRE

```
>> x = linspace(0,2*pi);  
>> subplot(2,2,1);  
>> plot(x,sin(x)); axis([0 2*pi -1.5 1.5]); title('sin(x)');  
>> subplot(2,2,2);  
>> plot(x,sin(2*x)); axis([0 2*pi -1.5 1.5]); title('sin(2x)');  
>> subplot(2,2,3);  
>> plot(x,sin(3*x)); axis([0 2*pi -1.5 1.5]); title('sin(3x)');  
>> subplot(2,2,4);  
>> plot(x,sin(4*x)); axis([0 2*pi -1.5 1.5]); title('sin(4x)');
```

il comando `axis([xmin xmax ymin ymax])` consente di definire gli intervalli di variazione `[xmin,xmax]` ed `[ymin,ymax]` delle variabili `x` ed `y`, rispettivamente. Digitando `axis` si ritorna alla scala automatica.

Visualizzazione avanzata subplot



Visualizzazione avanzata grafici 3D

Si vuole rappresentare graficamente la funzione

$$f(x, y) = x e^{-(x^2 + y^2)}$$

sul dominio $D = [-2, 2]^2$.

% Definisco la griglia con meshgrid

```
>> x = [-2:0.1:2]
```

```
>> y = x;
```

```
>> [X, Y] = meshgrid(x, y);
```

% X e Y sono matrici

% Valuto la funzione

```
>> f = 'X.*exp(-X.^2-Y.^2)'
```

```
>> Z = eval(f);
```

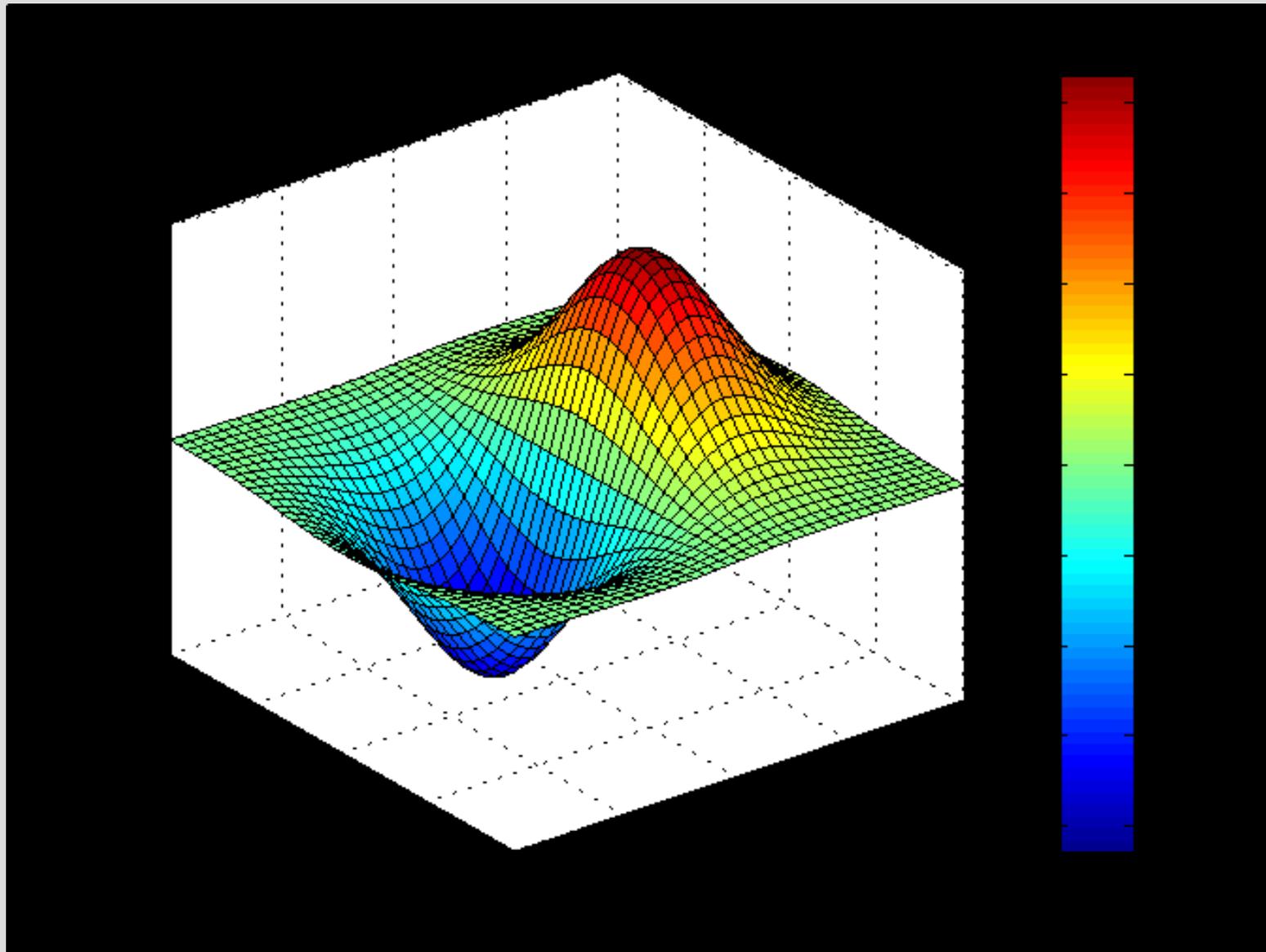
% Rappresento la funzione

```
>> surf(X, Y, Z)
```

```
>> colorbar
```

% barra dei colori

Visualizzazione avanzata grafica 3D



Visualizzazione avanzata grafica 3D

```
% Definisco la griglia con meshgrid
```

```
>> x=-8 :.5:8;
```

```
>> y=x;
```

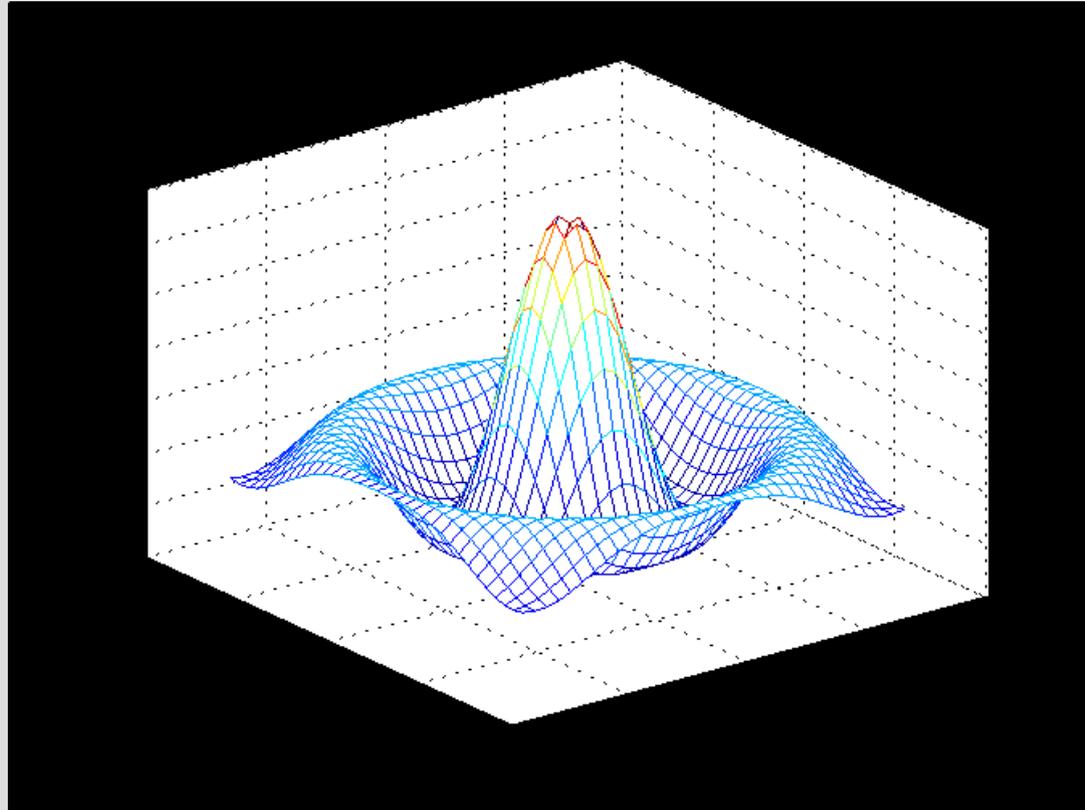
```
>> [X,Y]=meshgrid(x,y);
```

```
>> R=sqrt(X.^2+Y.^2);
```

```
>> Z=sin(R)./R;
```

```
% Rappresento la mesh
```

```
>> mesh(X,Y,Z)
```

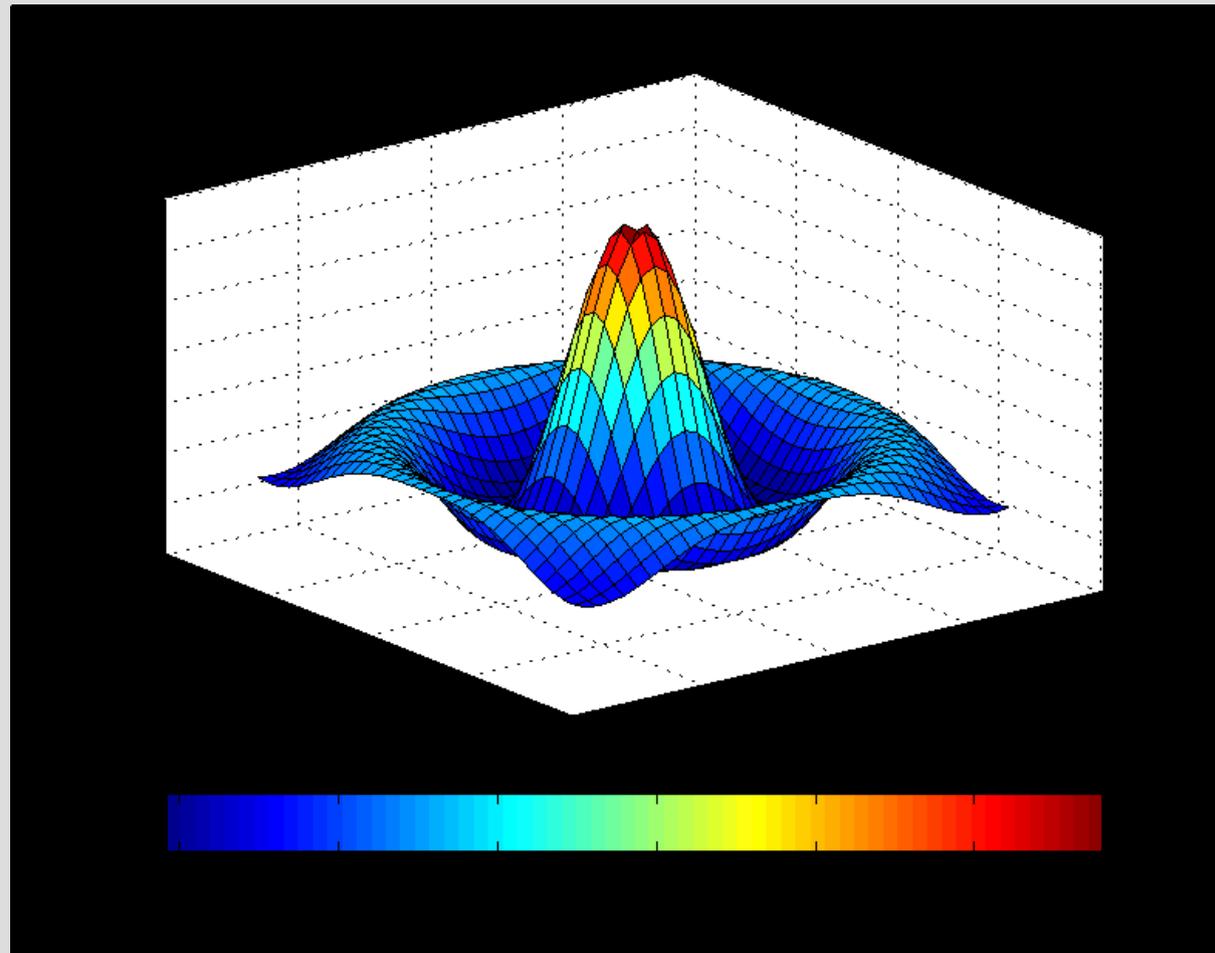


Visualizzazione avanzata grafici 3D

% Rappresento la funzione con barra di colori orizzontale

```
>> surf(X,Y,Z)
```

```
>> colorbar('horiz')
```



Visualizzazione avanzata grafici 3D

```
% Definisco la griglia con meshgrid
```

```
>> x=-8 :.5:8;
```

```
>> y=x;
```

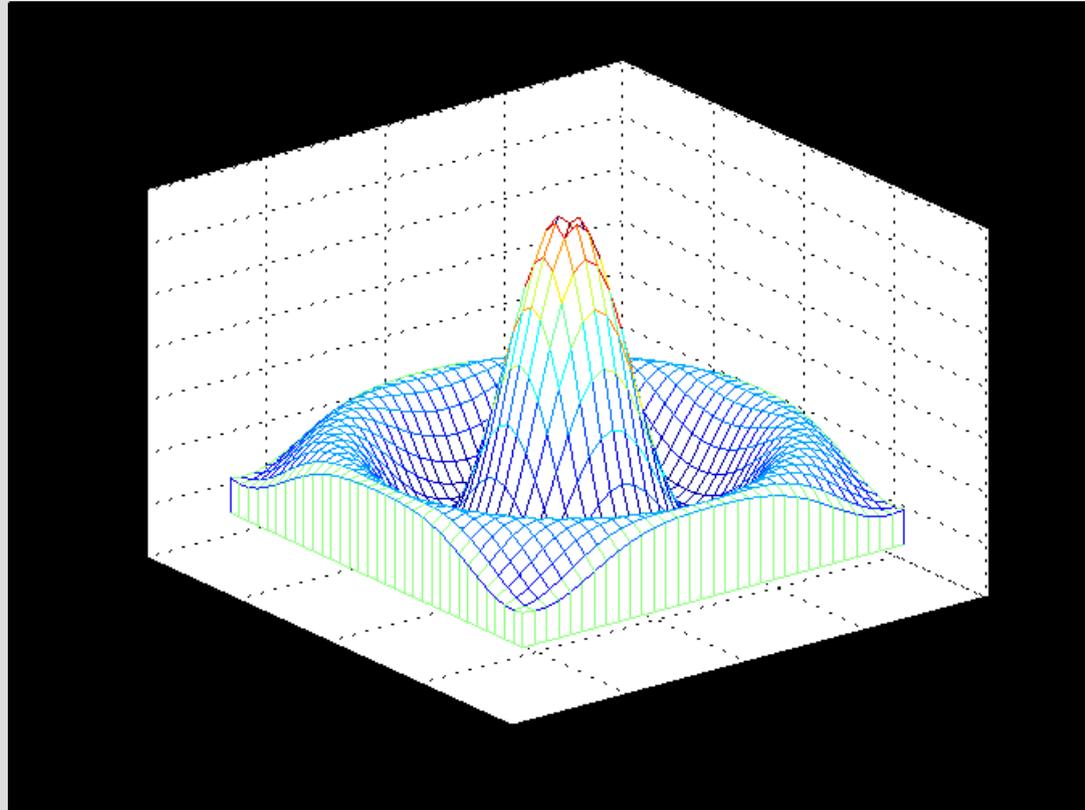
```
>> [X,Y]=meshgrid(x,y);
```

```
>> R=sqrt(X.^2+Y.^2);
```

```
>> Z=sin(R)./R;
```

```
% Rappresento la meshz
```

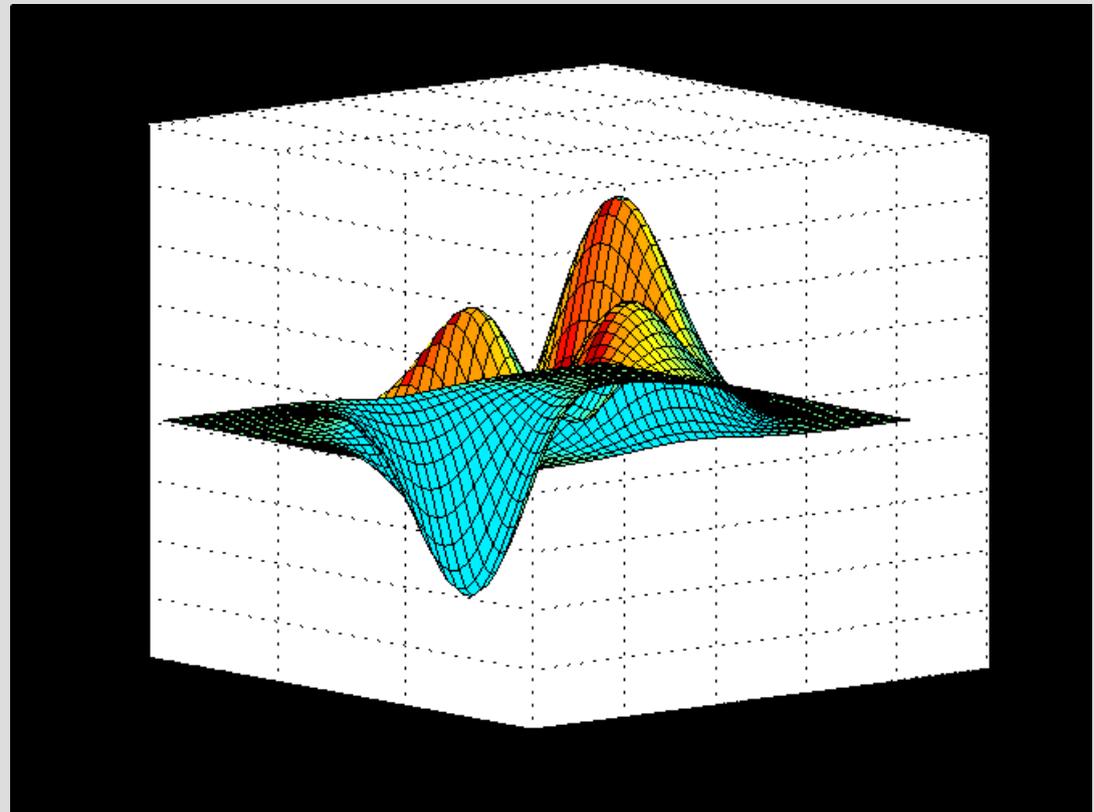
```
>> meshz(X,Y,Z)
```



Visualizzazione avanzata grafica 3D

`peaks` rappresenta una funzione in due variabili ottenuta dalla distribuzione gaussiana.

```
>> surf(peaks)  
>> view(40,-10)
```



Visualizzazione avanzata semplici filmati

Si vuole disegnare la funzione:

$$f(x, y, t) = 1/5 \sin(x) y \cos(t) \quad (x, y) \in [-\pi, \pi], t \in [0, 2\pi]$$

```
>> [x,y]=meshgrid(-pi:.5:pi);  
>> f='sin(x).*y/5*cos(t)';  
>> nframes=20;  
>> tt=linspace(0,2*pi,nframes);  
>> figure(1); clf  
>> Mv=moviein(nframes);  
>> for n=1:nframes  
>>     t=tt(n); z=eval(f); surf(x,y,z);  
>>     axis([-pi pi -pi pi -1 1]);  
>>     Mv(:,n)=getframe;  
>> end  
>> movie(Mv,4);
```

M-file

Matlab consente di memorizzare una sequenza di istruzioni in un *file*; questo, per essere accessibile, deve avere l'estensione ".m" e pertanto si chiama **M-file**.

Se al prompt si digita il nome del file si ottiene lo stesso risultato che si sarebbe ottenuto scrivendo uno ad uno i comandi elencati nel file.

Gli **M-file** possono essere di due tipi: *script* o *function*.

M-file tipo script (script)

L'ambiente di sviluppo MatLab fornisce un editor orientato alla scrittura di M-file. Per attivare tale editor è sufficiente selezionare il menù **File** nella finestra principale di MatLab e poi **New** e quindi **Mfile**.

In alternativa si può usare il comando **edit** dalla finestra principale di MatLab.

Per poter eseguire uno script dalla finestra di comando di MatLab è necessario trovarsi nella directory in cui è stato salvato lo script.

Script

Esempio 1:

```
% graphcos.m  
% disegna il grafico della funzione coseno in [0,2*pi]  
%  
n=21;  
a=0;  
b=2*pi;  
x=linspace(a,b,n);  
y=cos(x);  
plot(x,y)
```

Se si vuole disegnare il grafico della funzione coseno in [0; 2.] occorre richiamare lo script graphcos.m digitando il nome dell'M-file:

```
>>graphcos
```

Caratteristiche di un file di tipo script

- E' il tipo più semplice di M-file perchè non ha variabili di input e output.
- Serve per automatizzare una serie di comandi MATLAB che devono essere eseguiti più volte.
- Opera sui dati esistenti nell'ambiente di lavoro di base, oppure può creare nuovi dati.
- I dati che vengono generati rimangono nell'ambiente di lavoro di base e possono essere riutilizzati per altri calcoli.

Caratteristiche di un file di tipo script

Quindi una caratteristica degli script è quella di non avere parametri di **input**.

Ciò rappresenta un inconveniente quando si vogliono modificare i valori di alcune variabili definite all'interno dello script in quanto costringe l'utente a modificare ogni volta lo script.

Script

```
% apdrett.m
% calcola l'area, il perimetro e la diagonale di un rettangolo
% lati a e b
%
a=2; b=5;
A=a*b, p=2*(a+b), d=sqrt(a^2+b^2)
Digitando
>>apdrett
si ottiene
A =
    10
p =
    14
d =
    5.3852
```

Script

Se si vogliono modificare i valori delle variabili **a** e **b**, occorre ridefinirle all'interno dello script. Alternativamente si potrebbe inserire nello script il comando **input** che consente all'utente di assegnare ad alcune variabili il valore che si desidera tramite tastiera.

Nello script precedente, ciò comporta la sostituzione dei comandi

```
a=2;
```

```
b=5;
```

con

```
a=input('lato minore del rettangolo: ');
```

```
b=input('lato maggiore del rettangolo: ');
```

Caratteristiche di uno script

Le variabili definite in uno **script** sono variabili **globali** e quindi contribuiscono ad aumentare l'occupazione di memoria.

Anche questo rappresenta un inconveniente dello script perchè rimangono nella memoria della finestra di lavoro di MatLab anche le variabili di servizio, di cui è superfluo conservare i valori.

Per evitare gli inconvenienti sopra descritti di uno script, occorre considerare un altro tipo di M-file, la cosiddetta **function**.

M-file di tipo function (function)

- Le function sono **sottoprogrammi**:
 - hanno dei parametri di ingresso e di uscita che permettono la comunicazione con la command window.
 - utilizzano variabili **locali** che esistono solo in fase di esecuzione della funzione e sono diverse da quelle della command window
- Le function permettono la riusabilità del codice (la stessa procedura con parametri di input diversi)
- Possono chiamare altre function.

Function

Sintassi:

La prima riga del file deve essere del tipo

```
function [output] = nomeFunzione(input)
```

Gli argomenti di uscita [output], fra parentesi quadre, e di entrata (input), fra parentesi tonde, sono separati da una virgola ,.

Sono ammesse anche funzioni con nessun argomento sia in ingresso sia in uscita.

Il nome del file deve essere obbligatoriamente

```
nomefunzione.m
```

Esempio

Funzione con 0 ingressi 0 uscite

```
function visualizza  
% disegna una retta
```

```
% deve essere creato il file visualizza.m  
x = 1:10;  
plot(x,x);
```

Esempio

Funzione con 0 ingressi 1 uscite

```
function num = gennum
```

```
% genera un numero
```

```
% deve essere creato il file gennum.m
```

```
num = 4;
```

Esempio

Funzione con 1 ingressi 1 uscite

```
function num = mult2(x)
```

```
% moltiplica per 2
```

```
% deve essere creato il file mult2.m
```

```
num = x*2;
```

Esempio

Funzione con 2 ingressi 2 uscite

```
function [s,d] = sumdiff(x,y)
```

```
% somma e differenza
```

```
% deve essere creato il file sumdiff.m
```

```
s = x+y;
```

```
d = x-y;
```

Function somma2

```
function somma2(x,y)
% somma due matrici e stampa il risultato

% deve essere creato il file somma2.m
x+y
```

Function somma3

```
function s = somma3(x,y,z)
% somma tre variabili e ritorna il risultato

% deve essere creato il file somma3.m
s= x+y+z;
```

Function sumprod

```
function [s,p] = sumprod(x,y)
```

```
% calcola la somma e il prodotto di due  
matrici
```

```
% deve essere creato il file sommaprod.m
```

```
s= x+y;
```

```
p= x.*y;
```

Esempi con somma2

```
>> somma2(2,3)
```

```
ans =
```

```
5
```

```
>> x=[1 2]; y=[3,4];
```

```
>> somma2(x,y)
```

```
ans =
```

```
4
```

```
6
```

Esempi con somma2

```
>> A = [1 2; 3 4]; B = [5 6; 7 8];
```

```
>> somma2(A,B)
```

```
ans =
```

```
     6     8  
    10    12
```

```
>> somma2('uno','due')
```

```
ans =
```

```
 217  227  212
```

Se in input ci sono stringhe, somma i vettori dei caratteri ascii associati alle stringhe 'uno' e 'due', che devono avere la stessa lunghezza.

Esempi con somma2

```
>> a=somma3(1,2,3)
```

```
a =
```

```
6
```

```
>> somma3(4,5,6)
```

```
ans =
```

```
15
```

```
>> b=somma3(7,8,9);
```

```
% non produce output perchè  
% termina con ';' il risultato è  
% comunque assegnato a b.
```

Esempi con sumprod

```
>> [a,b]=sumprod(2,3)
```

```
a =  
    5
```

```
b =  
    6
```

```
>> sumprod(2,3)
```

```
ans =  
    5
```

```
>> v=sumprod(2,3)
```

```
v =  
    5
```

sumprod richiede 2 parametri in output, richiamare la function senza variabili di output o solo con una non produce messaggi di errore ma non è corretto.

Esempi con sumprod

```
>> x=[1 2]; y=[3,4];
```

```
>> [a,b]=sumprod(x,y)
```

```
a =
```

```
4    6
```

```
b =
```

```
3    8
```

```
>> [a,b,c]=sumprod(x,y)
```

```
??? Error using ==> sommaprod
```

```
Too many output arguments.
```

Richiamare la function con più di due variabili di output produce un messaggio di errore

Esempio di script che richiama una function

Salviamo il seguente **script** nel file `sommeprod.m`:

```
% programma che calcola somma e prodotto di a e b
% dati in input, utilizzando la function
% [s,p] = sumprod(x,y)
%
a=input('1^ numero ');
b=input('2^ numero ');
[som,prodot]=sumprod(a,b);
disp('la somma e'); disp(som)
disp('il prodotto e'); disp(prodot)
```

Script che richiama una function

Eseguiamo lo script richiamandolo

```
>> sommeprod
```

```
1^ numero 5
```

```
2^ numero 6
```

```
la somma e'
```

```
11
```

```
il prodotto e'
```

```
30
```

Script che richiama una function

Se una funzione ha molti parametri può essere conveniente avere la possibilità di chiamarla con un numero di parametri minore di quelli previsti.

Inoltre la function potrebbe eseguire parti di codice diverse in funzione del numero dei parametri.

Le funzioni **nargin** e **nargout** permettono di determinare con **quanti parametri di input e di output** è chiamata una funzione.

MatLab come linguaggio di programmazione

MatLab può essere considerato un linguaggio di programmazione alla stregua del Fortran o del C. L'esistenza di strutture sintattiche tradizionali e l'uso appropriato di funzioni intrinseche consentono di codificare in modo semplice e flessibile algoritmi semplici e più complessi.

MATLAB ha cinque strutture di controllo di flusso:

- if statements
- switch statements
- for loops
- while loops
- break statements

Operatori logici e relazionali

Operatori relazionali

<	minore di
<=	minore o uguale di
>	maggiore di
>=	maggiore o uguale di
==	uguale a
≠	diverso da

Operatori logici

&	and
	or
~	not

Operatori relazionali

```
>> minore = 3<5           % relazione vera = 1
```

```
minore =
```

```
1
```

```
>> maggiore = 3>5        % relazione falsa = 0
```

```
maggiore =
```

```
0
```

```
>> x=2;
```

```
>> x==0
```

```
% relazione falsa = 0
```

```
ans =
```

```
0
```

```
>> x==2
```

```
% relazione vera = 1
```

```
ans =
```

```
1
```

Operatori relazionali

Gli operatori relazionali possono essere applicati anche alle matrici:

```
>> a=[1 2; 0 -1];
```

```
>> a>0
```

% i primi due elementi sono veri

```
ans =
```

```
1 1  
0 0
```

```
>> a>=0
```

% i primi tre elementi sono veri

```
ans =
```

```
1 1  
1 0
```

Operatori logici

```
>> x=1; y= -1;
```

```
>> x>0 & y>0
```

```
ans =  
    0
```

% questa relazione è falsa

```
>> x>0 | y>0
```

```
ans =  
    1
```

% questa relazione è vera

a	b	a & b	a b	~a
0	0	0	0	1
1	0	0	1	0
0	1	0	1	1
1	1	1	1	0

Esecuzioni condizionali

IF

SINTASSI

```
if condizione  
    blocco di istruzione  
end
```

blocco di istruzioni sarà eseguito solo se è verificata la condizione

```
>> a = 3;  
>> if a > 0  
>>     disp(a);  
>> end  
3
```

Esecuzioni condizionali

IF-ELSE

SINTASSI

if condizione

 blocco di istruzioni 1

else

 blocco di istruzioni 2

end

blocco di istruzioni 1 sarà eseguito solo se è verificata la condizione altrimenti verrà eseguito il blocco di istruzioni 2

Esecuzioni condizionali IF-ELSE

```
>> a = 3;  
>> if a > 0  
>> disp(['maggiore di zero ',num2str(a)]);  
>> else  
>> disp(['minore di zero ',num2str(a)]);  
>> end  
maggiore di zero 3
```

Esecuzioni condizionali IF sintassi generale

SINTASSI

```
if condizione1
    blocco di istruzioni 1
elseif condizione2
    blocco di istruzioni 2
...
else
    blocco di istruzioni n
end
```

blocco di istruzioni 1 sarà eseguito solo se la **condizione1** risulta essere verificata, il secondo solo se la **condizione1** risulta essere falsa e la **condizione2** vera ecc. Il blocco di istruzioni dopo **else** sarà eseguito soltanto se nessuna delle precedenti condizioni risulterà vera.

Esecuzioni condizionali

IF-ELSE

```
if x=='domenica' | x=='sabato '
    display('Week end!!!')
elseif x=='venerdi '
    display('Torno a casa')
else
    display('Lavoro')
end
```

Imposto

```
>>x='sabato '           % x deve essere impostata come
                        % stringa di 8 caratteri
```

```
ans=
```

```
Week end
```

Cicli FOR

In Matlab la ripetizione di blocchi di istruzioni per un numero di volte specificato e in modo incondizionato viene eseguita tramite l'istruzione di ciclo FOR ...END la cui sintassi è :

```
for indice = espressione  
    blocco di istruzioni  
end
```

Dove **indice** è una quantità che assume diversi valori a seconda di espressione, e **end** segna la fine del blocco di istruzioni da ripetere.

Cicli FOR

esempio di incremento

Spesso **espressione** ha la forma **x1:x2** oppure **x1:step:x2**.

Indice viene utilizzato come contatore, x1 è il valore iniziale assunto dal contatore, step l'incremento dato al contatore ad ogni ciclo (in mancanza di step l'incremento è 1), x2 il valore finale che controlla il ciclo.

Cicli FOR

esempio di incremento

```
>> for i=1:8  
>>   disp(['numero: ',num2str(i)]);  
>> end  
numero: 1  
numero: 2  
numero: 3  
numero: 4  
numero: 5  
numero: 6  
numero: 7  
numero: 8
```

Cicli FOR

esempio di decremento

```
>> for i=8:-1:1
>>   disp(['numero: ',num2str(i)]);
>> end
numero: 8
numero: 7
numero: 6
numero: 5
numero: 4
numero: 3
numero: 2
numero: 1
```

Cicli FOR

esempio incremento non intero

```
>> for i=0:pi/4:pi
>>
    disp(['sin(',num2str(i),')=' ,num2str(sin(i))]);
>> end
sin(0)=0
sin(0.7854)=0.70711
sin(1.5708)=1
sin(2.3562)=0.70711
sin(3.1416)=1.2246e-016
```

Cicli FOR

- Più cicli for possono essere annidati l'uno all'interno dell'altro.
- Cicli for molto lunghi (ad esempio "for i=1:1000000") costruiscono vettori che rischiano di esaurire la memoria disponibile;
- in **espressione** possiamo scrivere sequenze di indici arbitrarie, ad esempio:

```
for i = [2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19]
```

se vogliamo scandire i numeri primi.

WHILE

Se si ha la necessità di ripetere una o più istruzioni fintanto che una condizione sarà verificata non sapendo a priori il numero di ripetizioni si usa l'istruzione WHILE ...END, la cui sintassi è:

```
while condizione  
    blocco istruzioni  
end
```

Dove **blocco di istruzioni** verrà eseguito fintanto che **condizione** risulta vera.

WHILE

Per sommare tutti i voti di uno studente (ad esempio per farne la media), senza doverne conoscere a priori il numero, potremmo costruire questo script:

```
nvoti = 0; somma = 0;
voto = input('voto? (0 per finire)');
while voto ~= 0
    somma = somma + voto;
    nvoti = nvoti + 1;
    voto = input('voto? (0 per finire)');
end
media = somma/nvoti;
disp (media)
```

WHILE

Per sommare tutti i voti di uno studente (ad esempio per farne la media), senza doverne conoscere a priori il numero, potremmo costruire questo script:

```
nvoti = 0; somma = 0;
voto = input('voto? (0 per finire)');
while voto ~= 0
    somma = somma + voto;
    nvoti = nvoti + 1;
    voto = input('voto? (0 per finire)');
end
media = somma/nvoti;
disp (media)
```

SWITCH

L'istruzione switch effettua una selezione fra più possibilità, la sintassi è:

```
switch switch_expr
  case case_expr
    statement,...,statement
  case {case_expr1,case_expr2,case_expr3,...}
    statement,...,statement
  ...
  otherwise
    statement,...,statement
end
```

SWITCH

Esempio:

```
nome='rosa';  
% nome='giglio';  
% nome='garofano';  
switch nome  
    case 'rosa'  
        disp('si tratta di una rosa')  
    case 'garofano'  
        disp('si tratta di un garofano')  
    case 'giglio'  
        disp('si tratta di un giglio')  
    otherwise  
        disp('si tratta di un altro fiore')  
end
```

BREAK

L'istruzione `break` permette di terminare immediatamente l'esecuzione di un ciclo `for` o `while` (ad esempio in caso di errore). Quando è eseguita l'istruzione `break` MatLab salta automaticamente all'istruzione `end` che termina il ciclo.

```
for i = 1 : 10
    a = input('Inserisci a ');
    if a == 0 disp('attenzione e` un denominatore!');
        break;
    end
    x(i) = 1/a;
end
```