Laboratorio di Calcolo Numerico

Introduzione a Matlab/Octave

Ángeles Martínez Calomardo
http://www.dmsa.unipd.it/~acalomar/DIDATTICA/2013-14
angeles.martinez@unipd.it

Laurea in Matematica
A.A. 2013–2014

Matlab

- Prodotto commerciale che fornisce sofisticati strumenti di calcolo.
- È distribuito da The MathWorks (si veda il sito `www.mathworks.com`).
- La sua principale caratteristica è la manipolazione di matrici, come viene sottolineato dall'acronimo MATLAB che deriva da MATrix LABoratory, vale a dire "laboratorio matriciale".
- Calcolatrice scientifica evoluta.
- Linguaggio di programmazione ad alto livello.

Per avviare Matlab in ambiente Unix basta digitare il comando `matlab` seguito dal tasto di invio.

Octave

- Anche Octave è un ambiente integrato per il calcolo scientifico e la visualizzazione grafica come Matlab.
- È distribuito gratuitamente dalla GNU (si veda il sito `www.octave.org`).
- Matlab e Octave presentano delle differenze ma sono sufficientemente compatibili da permettere alla maggior parte di programmi Matlab di essere eseguiti senza modifiche in ambiente Octave e viceversa.

  Per avviare Octave in ambiente Unix basta digitare il comando `qtoctave` seguito dal tasto di invio.

LE INFORMAZIONI CONTENUTE IN QUESTI LUCIDI SONO VALIDE PER ENTRAMBI I PROGRAMMI

Interfaccia grafica di Matlab

L'interfaccia grafica di Matlab è costituita da 4 ambienti:

- **Workspace.** Una finestra che mostra il contenuto del workspace (variabili memorizzate e loro valore).
- **Current directory.** Una finestra sulla cartella in cui si sta lavorando, che mostra i files presenti nella cartella stessa.
- **Command history.** Contiene una lista di tutti i comandi digitati.
- **Command window.** Finestra nella quale vengono inseriti i comandi.

L'interfaccia grafica di Octave è costituita da 2 ambienti:

- **Command List.** Contiene una lista di tutti i comandi digitati.
- **Octave Terminal.** Finestra nella quale vengono inseriti i comandi.

Command window / Octave Terminal

- La `Command window/Octave Terminal` permette di interagire con l'ambiente di calcolo di Matlab/Octave che si presenta come una linea di comando detta *prompt*.
- Permette di eseguire programmi (script) presenti in Matlab/Octave, ma anche programmi costruiti dall'utente usando il linguaggio Matlab/Octave e salvati su un file di testo con estensione .m (m-file).
- Per eseguire un programma costruito dall'utente occorre scrivere dopo il prompt il nome del file **senza l'estensione .m**.
- Un programma Matlab/Octave non deve essere compilato: premuto il tasto enter le istruzioni vengono interpretate.
- Per essere eseguiti i programmi devono essere presenti nella cartella di lavoro (current directory).
- Per capire qual è la cartella attuale esiste il comando `pwd`.
- Il comando `what` lista i file .m presenti nella cartella di lavoro, mentre il comando `ls` lista tutti i files presenti nella stessa.

Variabili e assegnazione

- In Matlab/Octave non occorre dichiarare le variabili: l'assegnazione coincide con la dichiarazione.

```
a = 2/3
a =     0.66667
b = 3/2
b =   1.5000
a*b
ans =   1
```

- Matlab/Octave crea le variabili a e b nel momento in cui viene loro assegnato un valore. Se il risultato di un'espressione non viene assegnato a nessuna variabile definita dall'utente, viene assegnato alla variabile di default `ans`.
- I nomi delle variabili possono essere lunghi al massimo 19 caratteri e devono iniziare con un carattere alfabetico (distingue tra maiuscole e minuscole).

Esercizio

Assegnare alla variabile A il valore 1, e scrivere a dopo il prompt. Si osservi che A ed a sono due variabili distinte.

Variabili e assegnazione

- Il comando `who` permette di sapere quali sono le variabili dell'utente attualmente in memoria.
- Il comando `whos` ne mostra anche la dimensione e l'occupazione di memoria (numero di bytes).

```
whos
Variables in the current scope:

  Attr  Name          Size                     Bytes  Class
  ====  ====          ====                     =====  =====
        A             1x1                          8  double
        a             1x1                          8  double
        ans           1x1                          8  double
        b             1x1                          8  double

Total is 4 elements using 32 bytes
```

- Le variabili possono essere cancellate utilizzando il comando `clear`.
- Ci sono variabili predefinite come l'unità immaginaria i o il numero π.

Operazioni aritmetiche e funzioni matematiche predefinite

$+$	addizione
$-$	sottrazione
$*$	prodotto
$/$	divisione
$\wedge$	elevamento a potenza

Funzione	`function` MATLAB
sin	`sin`
cos	`cos`
tan	`tan`
arcsin	`asin`
arccos	`acos`
arctan	`atan`
exp	`exp`
ln	`log`
$\log_2$	`log2`
$\log_{10}$	`log10`
$\lvert . \rvert$	`abs`
$\sqrt{\cdot}$	`sqrt`

L'istruzione `format`

- Permette di modificare il formato di visualizzazione dei risultati ma **non modifica la precisione con cui i calcoli vengono eseguiti**.
- Tutti i calcoli vengono effettuati in Matlab/Octave utilizzando i numeri in virgola mobile in doppia precisione, secondo lo standard IEEE-754r.
- I principali formati di visualizzazione dei risultati si ottengono digitando `help format`.

Dato il numero $1/7$, alcuni formati comunemente usati sono

`format short`	produce	0.1429
`format short e`	produce	1.4286e-01
`format short g`	produce	0.14286
`format long`	produce	0.142857142857143
`format long e`	produce	1.428571428571428e-01
`format long g`	produce	0.142857142857143

- Gli stessi formati sono disponibili in Octave e forniscono risultati con lievi discrepanze.

Matrici e vettori

- Le variabili per Matlab/Octave hanno una struttura di tipo **matriciale**.
  - Gli scalari sono considerati matrici 1×1.
  - I vettori riga sono matrici $1 \times n$.
  - I vettori colonna sono matrici $n \times 1$.
- Per definire una **matrice** se ne possono innanzitutto assegnare direttamente gli elementi riga a riga. Ad esempio digitando

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

si produce

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

- Notiamo che i punto e virgola separano righe diverse.

Matrici e vettori

- L'elemento in riga i e colonna j di A si accede con $A(i,j)$. Per la matrice A dell'esempio precedente

```
>> A(2,3)
ans =  6
```

Esercizio

Costruire una matrice 2×3 con i primi sei numeri interi come coefficienti. Azzerare gli elementi $A(1,1)$ e $A(2,2)$.

- Soluzione.

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

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

A =
    0    2    3
    4    0    6
```

Creazione di Matrici

Un modo alternativo per definire una matrice A è mediante un ciclo *for* (struttura che descriveremo sucessivamente)

```
for s=1:3
    for t=1:3
        A(s,t)=3*(s-1)+t;
    end
end
```

Esercizio

Si scriva il programma su un file `ciclofor.m` *e lo si lanci dalla shell di Matlab/Octave con il comando* `ciclofor`.

- Definire le matrici scrivendole componente a componente va bene per matrici di piccole dimensioni.
- Il metodo basto sul ciclo for è più adatto a matrici strutturate (come, ad esempio, la matrice di Hilbert che ha componenti $a_{i,j} = (i+j-1)^{-1}$).

Comandi predefiniti che operano su matrici

- Comandi che generano matrici:

`rand(m,n)`	matrice $m \times n$ con coefficienti random.
`eye(n)`	matrice identità di ordine n.
`ones(n)`	matrice di ordine n con coefficienti tutti uguali ad 1.
`zeros(n)`	matrice di ordine n con coefficienti tutti uguali a 0.

- Altri comandi importanti che operano con matrici:

`inv(A)`	calcola l'inversa della matrice A;
`[n,m] = size(A)`	restituisce il numero di righe e di colonne di A;
`det(A)`	calcola il determinante di A.
`eig(A)`	calcola gli autovalori di A.

Esercizio

Creare una matrice quadrata A di ordine 4 con tutti gli elementi uguali a 1 e calcolarne il determinante.
Che cosa succede se proviamo a calcolare l'inversa di A?

Comandi predefiniti che operano su matrici

Soluzione dell'esercizio

```
>> A = ones(4)
A =

    1    1    1    1
    1    1    1    1
    1    1    1    1
    1    1    1    1

>> det(A)
ans = 0
>> inv(A)
warning: inverse: matrix singular to machine precision, rcond = 0
ans =

   Inf   Inf   Inf   Inf
   Inf   Inf   Inf   Inf
   Inf   Inf   Inf   Inf
   Inf   Inf   Inf   Inf
```

Operazioni tra matrici

- Essendo A, B, C matrici con coefficienti reali ed s uno scalare, si definiscono le operazioni:

`C = s*A`	prodotto di una matrice per uno scalare.
`C = A'`	trasposizione di una matrice.
`C = A+B`	somma di due matrici di dimensione $m \times n$.
`C = A-B`	sottrazione di due matrici $m \times n$.
`C = A*B`	prodotto di A (m righe e n colonne) per B (n righe e p colonne).
`C = A.*B`	$c_{ij} = a_{ij} \cdot b_{ij}$ (prodotto di due matrici componente a componente).

- Esempio:

```
>> A = [2  -1; 3  4; -2  7]
A =
    2   -1
    3    4
   -2    7

>> B = A'
B =
    2    3   -2
   -1    4    7
```

Operazioni tra matrici: esempi

Riportiamo un esempio di somma, prodotto, e prodotto componente a componente di due matrici.

```
>> A = [4 -1 0; -1 4 -1; 0 -1 4];
>> B = [1 2 3; -4 -5 -6; 0 1 2];
```

Il carattere ; usato alla fine di qualunque istruzione sopprime l'output a video.

```
>> C = A+B
C =
    5    1    3
   -5   -1   -7
    0    0    6

>> C = A*B
C =
    8   13   18
  -17  -23  -29
    4    9   14

>> C = A.*B
C =
    4   -2    0
    4  -20    6
    0   -1    8
```

Vettori

- Matlab/Octave tratta i vettori come casi particolari di matrici.
- Per memorizzare il vettore riga $x = [1,2,3,4,5]$ occorre digitare

```
x = [1  2  3  4  5];
```

- mentre

```
y = [-2; 4 ; 12];
```

produce il vettore colonna

```
y =
    -2
     4
    12
```

- `zeros(1,n)` crea un vettore riga di dimensione n con tutti gli elementi nulli; `zeros(n,1)` idem per vettori colonna.
- Per creare un vettore riga (colonna) con elementi uguali ad 1 usiamo `ones(1,n)` (`ones(n,1)`).

Vettori

- La componente i-esima di un vettore si identifica con `x(i)`. Per esempio la terza componente del precedente vettore y sarà:

```
y(3)
ans =
      12
```

- un vettore colonna si trasforma nel corrispondente vettore riga mediante trasposizione:

```
x = [-2; 4; 12]'
x =
   -2    4    12
```

- Si può creare un vettore vuoto (cioè con zero componenti) con il comando `x = []`.
- La norma euclidea di un vettore x si definisce come $\|x\| = \sqrt{x^T x}$. In Matlab/Octave si implementa con il comando `norm(x)`.

Operazioni tra vettori

- Essendo z, u, v vettori (riga o colonna) ed s uno scalare, si definiscono le operazioni:

  `z = s*u` prodotto di un vettore per uno scalare.

  `z = u+v` somma di due vettori di dimensione n.

  `z = u-v` sottrazione di due vettori n.

  `z = u.*v` $z_i = u_i \cdot v_i$ (prodotto tra due vettori componente a componente).

  `z = u./v` $z_i = u_i / v_i$ (divisione tra due vettori componente a componente).

- Il prodotto scalare tra due vettori colonna x e y di dimensione n: $s = x^T y = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i$ si esegue in Matlab/Octave come
  `s = x'*y`

Esercizio

Si definisca il vettore colonna u di componenti $(1,2)$ e il vettore colonna v di componenti $(3,4)$; si calcoli $u+v$, $u-v$, il prodotto scalare di u per v e il prodotto componente a componente.

Prodotto matrice per vettore

- Se A è una matrice $n \times m$ e u un vettore colonna $m \times 1$, allora `A * u` è l'usuale prodotto matrice per vettore.

Esercizio

Sia $A = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 2 & 4 & 6 \\ -1 & 3 & 0 \end{pmatrix}$, $u = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$. *Calcolare* $w = A \cdot u$.

- Soluzione:

```
>> A = [1 3 5; 2 4 6; -1 3 0];
>> u = [1 1 2]
u =
    1    1    2

>> w = A*u'
w =
    14
    18
     2
```

- Se avessimo scritto `A * u`, avremmo ottenuto un messaggio di errore!

Risoluzione di sistemi lineari: comando \

Il comando $x = A\backslash b$ calcola la soluzione del sistema lineare $Ax = b$,
con A matrice quadrata non singolare di ordine n e b vettore colonna $\in R^n$,

Ad esempio, per risolvere il sistema $\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 17 \\ 39 \end{pmatrix}$

scriveremo

```
>> A=[1  2; 3  4]
A =
      1      2
      3      4
>> b=[17; 39]
b =
     17
     39

>> x=A\b
x =
    5.0000
    6.0000
>>
```

Attenzione:

```
 x=A/b
??? Error using ==> mrdivide
Matrix dimensions must agree.
```

Vettori con elementi equispaziati

Notazione ":"

In Matlab/Octave si possono creare vettori riga con elementi equispaziati con la notazione ":" la cui sintassi è

```
vettore = [inizio:incremento:fine]
```

dove `inizio` è il primo elemento del vettore, e `incremento` è un parametro opzionale che indica la spaziatura tra gli elementi (se omesso `incremento`$= 1$).

Esempio:

```
>> u = [1:2:10]
u =
    1    3    5    7    9

>> v = [5:-1:1]
v =
    5    4    3    2    1

>> w = [0:0.2:1]
w =
    0.00000    0.20000    0.40000    0.60000    0.80000    1.00000
```

```
Crea gli elementi
vettore(i) = inizio + (i-1)*incremento
      fino a quando
      vettore(i) <= fine
```

Vettori con elementi equispaziati

Comando `linspace`

- Un'alternativa ai due punti è il comando:

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

- Il comando `linspace` genera un vettore riga con un numero prefissato di punti equispaziati compresi tra `inizio` (primo elemento) e `fine` (ultimo elemento del vettore).
- Se il `numero di punti` è omesso se ne creano 100.
- Esempi:

```
>> u = linspace(0,8,5)
u =
    0    2    4    6    8

>> v = linspace(-5,5,6)
v =
   -5   -3   -1    1    3    5

>> v = linspace(-5,5,5)
v =
   -5.00000   -2.50000    0.00000    2.50000    5.00000
```

Vettori con elementi equispaziati

Esercizio

Creare il vettore u di componenti $u_i = -3 + 0.5 \cdot i,\ i = 0, \ldots, 6$, utilizzando sia la notazione `:` *che il comando* `linspace`.

- Soluzione.

```
>> u = [-3:0.5:0]
u =

   -3.00000   -2.50000   -2.00000   -1.50000   -1.00000   -0.50000
         0.00000

>> u = linspace(-3,0,7)
u =

   -3.00000   -2.50000   -2.00000   -1.50000   -1.00000   -0.50000
         0.00000
```

- Un'istruzione Matlab/Octave di uso molto comune è `length` che calcola il numero di elementi di un vettore.

```
>> length(u)
ans =  7
```

Uso vettoriale delle funzioni elementari

- Le funzioni matematiche predefinite in Matlab/Octave sono vettoriali. Esempi:

```
>> u = [1:1:6]
u =
    1    2    3    4    5    6
>> log(u)
ans =
    0.00000    0.69315    1.09861    1.38629    1.60944    1.79176
>> exp(u)
ans =
     2.7183     7.3891    20.0855    54.5982   148.4132   403.4288
```

- Per le operazioni prodotto e divisione bisogna usare il punto per lavorare vettorialmente.

```
>> u = -1:0.5:1
u =
   -1.0000   -0.5000    0.0000    0.5000    1.0000
>> u.^2
ans =
    1.00000    0.25000    0.00000    0.25000    1.00000
>> 1./u
ans =
    -1    -2   Inf     2     1
```

Uso vettoriale delle funzioni elementari

Esercizio

Calcolare il seno e il coseno dei seguenti angoli: $\{0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}, 2\pi\}$.

Definizione di funzioni

Matlab/Octave mette a disposizione le funzioni matematiche predefinite viste in precedenza, ma consente all'utente di definire le proprie funzioni.

Ci sono diversi modi di definire una funzione:

1. Mediante una stringa di caratteri:

   ```
   f = 'x.^3 - log(x)'.
   ```

2. Mediante il comando `inline`:

   ```
   f = inline('x.^3 - log(x)').
   ```

3. Mediante *anonymous function* con l'ausilio del *function handle* `@`:

   ```
   f = @(x)[x.^3 - log(x)].
   ```

Valutazione delle funzioni

Per valutare la funzione f in un punto x (o un insieme di punti memorizzati nel vettore x) si possono utilizzare i comandi `eval, feval` o la semplice valutazione della funzione f a seconda del comando utilizzato per definirla:

Definizione	Valutazione
$f =' x.\hat{}3 - \log(x)'$	y = eval(f)
$f =$ `inline`$('x.\hat{}3 - \log(x)')$	y = f(x) y = feval(f,x)
$f = @(x)[x.\hat{}3 - \log(x)]$	y = f(x) y = feval(f,x)

Valutazione delle funzioni

Esempi

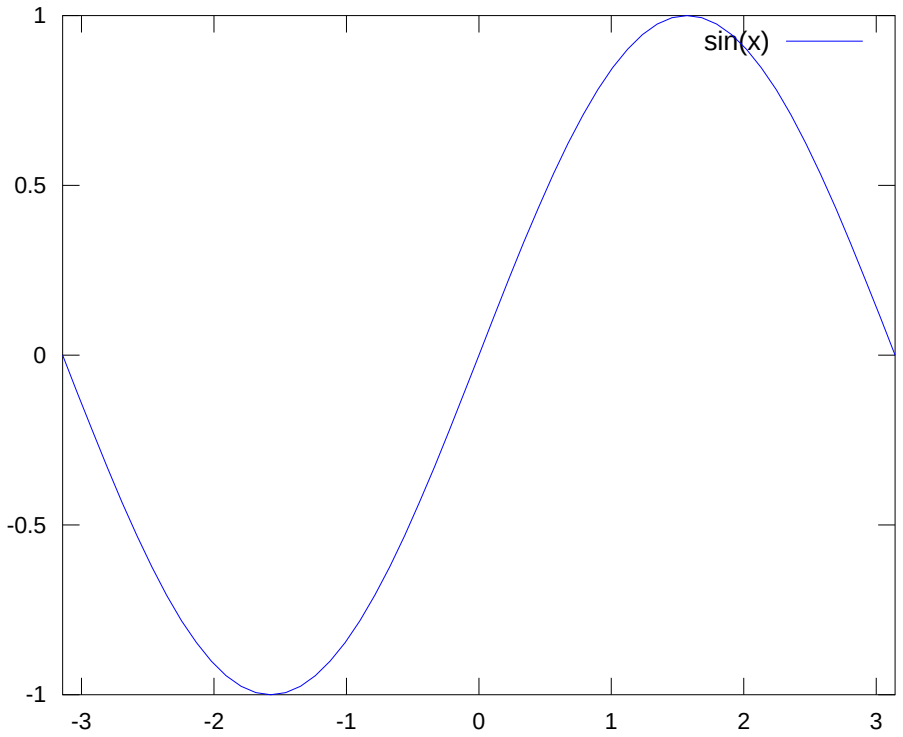
```
>> f='x.^3 -log(x)'
f = x.^3 -log(x)
>> x=1:3:14
x =

     1     4     7    10    13

>> eval(f)
ans =

       1.0000      62.6137     341.0541     997.6974    2194.4351

>> f(x)
>>error: A(I): Index exceeds matrix dimension.


>> f=inline('x.^3 -log(x)');
>> f(x)
ans =

       1.0000      62.6137     341.0541     997.6974    2194.4351

>> feval(f,x)
ans =

       1.0000      62.6137     341.0541     997.6974    2194.4351
```

Grafici di funzioni: comando `fplot`

Il comando `fplot(fun,[a,b])` visualizza il grafico della funzione `fun` nell'intervallo $[a,b]$.

Esempio:

```
>> lims=[-pi,pi];
>> f='sin(x)';
>> fplot(f,lims)
>> axis([-pi pi -1 1])
```



Grafici di funzioni: comando `fplot`

Esercizio

Rappresentare graficamente la funzione $\frac{1}{1+x^2}$ *nell'intervallo* $[-5,5]$ *definendola nei vari modi possibili.*

```
>> f='1./(1+x.^2)'
f = 1./(1+x.^2)

>> lims=[-5,5];

>> fplot(f,lims)

>> f2=inline('1./(1+x.^2)')
f2 =

f(x) = 1./(1+x.^2)

>> fplot(f,lims)
```

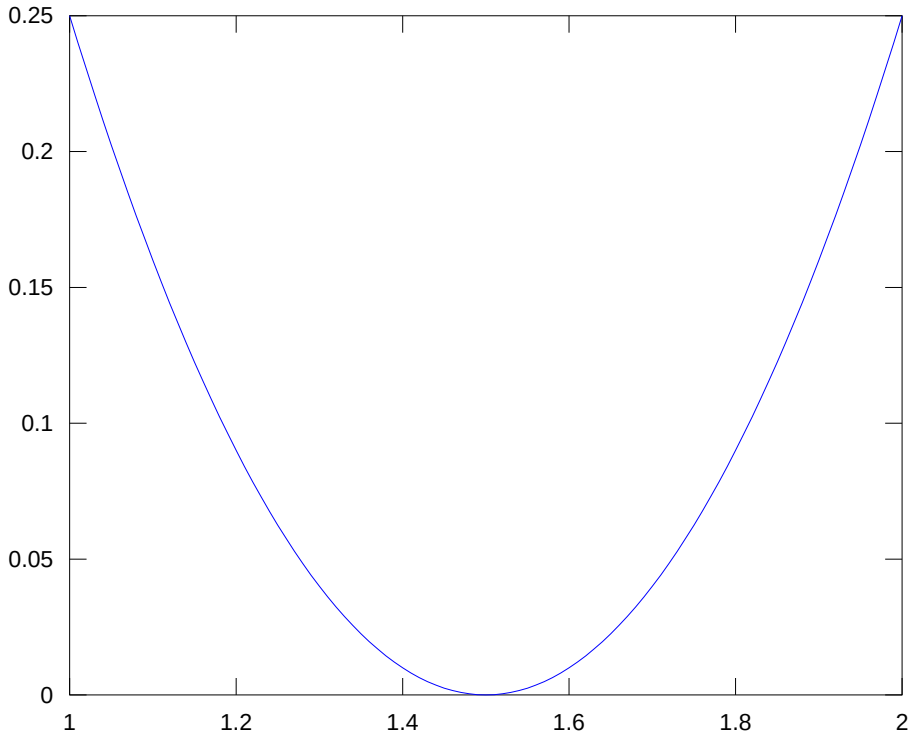
Grafica in Matlab/Octave: comando `plot`

- Il comando `plot(x,y)` traccia il grafico di una serie di dati contenuti in due vettori x (il vettore delle ascisse) e y (il vettore delle ordinate) di lunghezza n.
- I due vettori x e y devono avere la stessa lunghezza: il grafico viene disegnato unendo tali punti con dei segmenti.
- Si possono utilizzare tanti comandi opzionali con cui modificare le caratteristiche del grafico:
  - aggiungere un titolo (`title`),
  - inserire etichette sugli assi (`xlabel, ylabel`)
  - selezionare tipo di linea, colore e spessore, ecc
- L' `help plot` fornisce tutte le indicazioni a tal proposito.

Grafica in Matlab/Octave: comando `plot`

Esempio 1

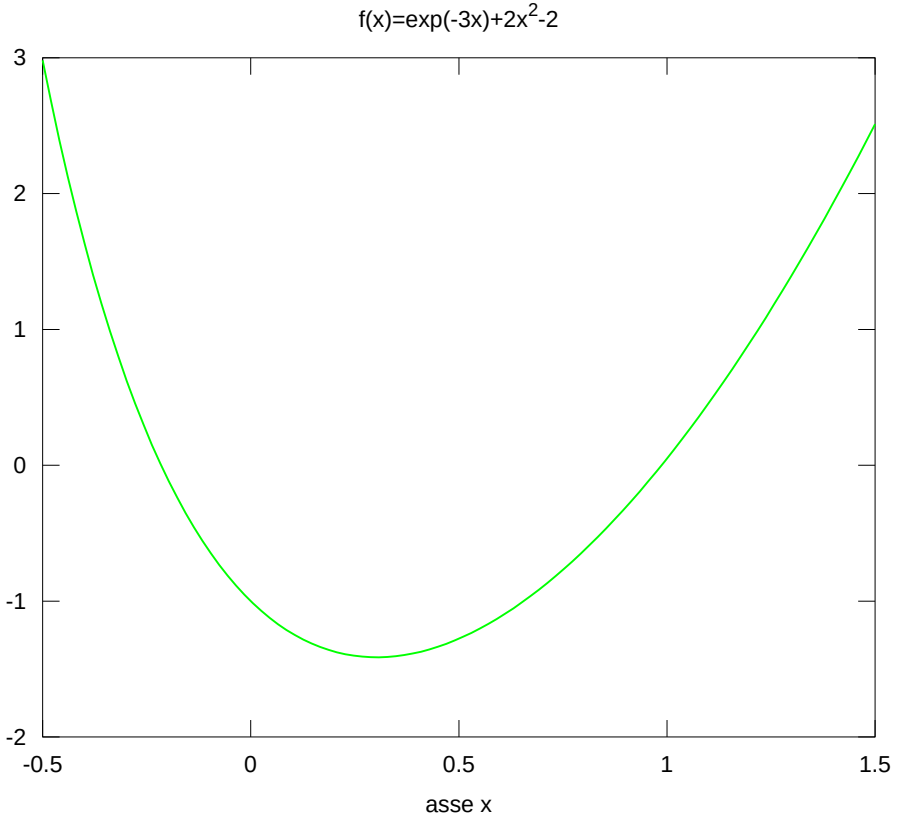
```
x = linspace(1,2,101);
y = (x-1.5).^2;
plot(x,y)
```



Grafici in Matlab/Octave: comando `plot`

Esempio 2

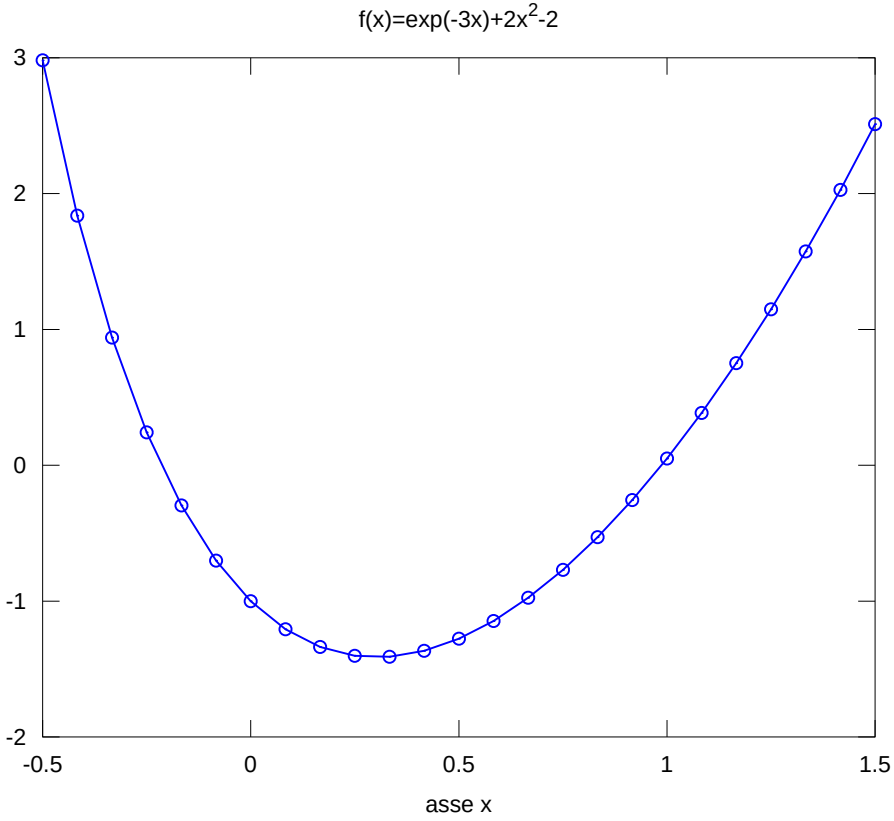
```
f=inline('exp(-3.*x)+2.*x.^2-2');
xx=linspace(-0.5,1.5,100);
plot(xx,feval(f,xx),'g-','linewidth',2);
axis([-0.5 1.5 -2 3]);
xlabel('asse x');
title('f(x)=exp(-3x)+2x^2-2');
```



Grafici in Matlab/Octave : comando `plot`

Esempio 3

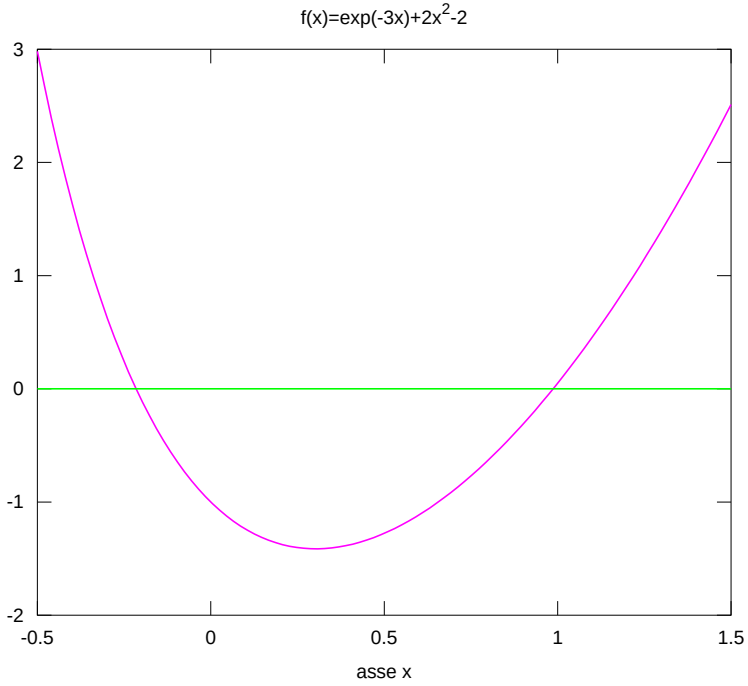
```
f=inline('exp(-3.*x)+2.*x.^2-2');
xx=linspace(-0.5,1.5,25);
plot(xx,feval(f,xx),'b-o','linewidth',2);
axis([-0.5 1.5 -2 3]);
xlabel('asse x');
title('f(x)=exp(-3x)+2x^2-2');
```



Grafici in Matlab/Octave: comando `plot`

Esempio 4

```
f=inline('exp(-3.*x)+2.*x.^2-2');
xx=linspace(-0.5,1.5,100);
plot(xx,feval(f,xx),'b-o','linewidth',2);
axis([-0.5 1.5 -2 3]);
xlabel('asse x');
title('f(x)=exp(-3x)+2x^2-2');
hold on
plot(xx,zeros(size(xx)),'g-','linewidth',2);
hold off
```



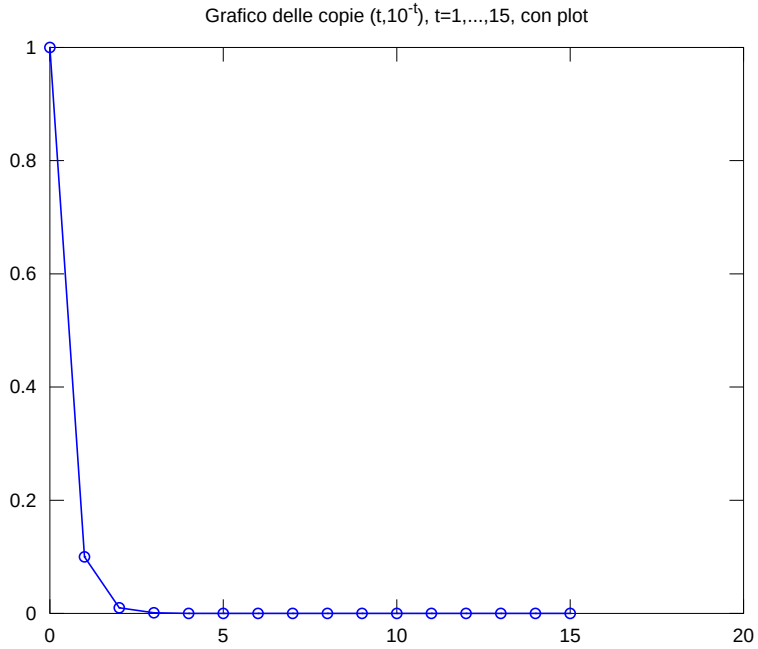
Grafici in scala semilogaritmica

- In molte aree scientifiche vengono usati grafici in scala semilogaritmica.
- Matlab/Octave fornisce tre comandi a tale proposito:
  - `semilogy`: equivalente a `plot` ma con l'asse delle ordinate in scala logaritmica
  - `semilogx`: idem con l'asse delle ascisse in scala logaritmica
  - `loglog`: entrambi gli assi in scala logaritmica
- Noi ricorreremo ai grafici in scala semilogaritmica, mediante il comando `semilogy`, nella realizzazione dei grafici che ci serviranno a studiare gli errori commessi dai metodi numerici.

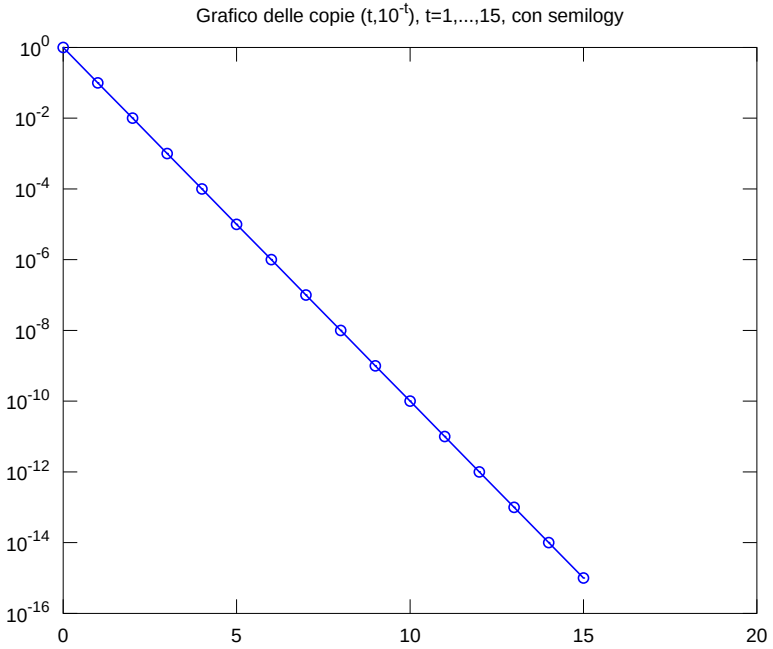
Grafici in scala semilogaritmica: comando `semilogy`

- Supponiamo di voler plottare le coppie $(t, 10^{-t})$ per $t = 0, \ldots, 15$.
- Il commando `plot` non mostra adeguatamente la differenza tra i valori poiché hanno ordini di grandezza troppo diversi.
- Questa differenza è invece palese nel grafico ottenuto con `semilogy`.

`plot`



`semilogy`



Matlab/Octave come linguaggio di programmazione

- Matlab/Octave può essere considerato un linguaggio di programmazione alla stregua di Fortran, di C, ecc.
- Non viene compilato ma interpretato (poco efficiente per calcoli intensivi).
- Un programma Matlab/Octave deve essere salvato in un m-file (file avente estensione .m).
- I programmi Matlab/Octave possono essere di due tipi:
  - `script`
  - `function`
- Strutture di programmazione basilari in Matlab/Octave:
  - Istruzione condizionale (`if else end`)
  - Cicli (`for` e `while`)

Matlab/Octave come linguaggio di programmazione

Operatori logici e di relazione in Matlab/Octave

Operatori logici	
& &	AND
|	OR
~	NOT

Operatori di relazione	
==	uguale
~=	diverso
<	minore
>	maggiore
<=	minore o uguale
>=	maggiore o uguale

- Il valore restituito dagli operatori può essere vero o falso e MATLAB utilliza il numero 1 per indicare il valore vero e 0 per il valore falso.
- Se, ad esempio, poniamo `x=5;` e `y=1` e scriviamo la proposizione `x < y`, MATLAB risponde con `ans = 0` indicando che il confronto esprime una condizione falsa.

Il costrutto `for`

- La sintassi del costrutto `for` è la seguente:

```
for k = vettore
        istruzioni
end
```

- I comandi che si trovano tra `for` e `end` sono eseguiti per tutti i valori di `k` che sono nell'`vettore`.
- Esempio: calcolare la somma dei primi 10 numeri interi positivi usando un ciclo `for`.

```
somm=0;
for n=1:10
    somm=somm+n;
end
```

- Possiamo usare più cicli `for` annidati.

Il costrutto `while`

- Per il ciclo `while` la sintassi è data da:

```
while espressione logica
        istruzioni
end
```

- Questo ciclo è usato quando le istruzioni devono essere ripetute fino a quando rimane vera l'espressione logica (numero di volte indeterminato a priori).
- **Esempio**:

```
f=1; j=1;
while j < 10
      f=f*j;
      j=j+1;
end
```

- Il codice precedente calcola il fattoriale di 9!

Esercizio

Calcolare la somma dei primi n numeri interi positivi utilizzando un ciclo `while`.

Esempio di uso del costrutto `while`

Per trovare la soluzione dell'equazione $x = \cos x$, scriviamo le istruzioni:

```
x = 1;
dif = 100;
while dif > 1e-8
      xnew = cos(x);
      dif = abs(xnew-x);
      x = xnew;
end
xnew
```

che producono il risultato

```
xnew =   0.739085136646572
```

Il costrutto if-else-end

```
if espressione logica
        istruzioni
end
```

Esempio

```
if a > b
    maxval = a
end
```

```
if espressione logica
        istruzioni
else
        istruzioni
end
```

Esempio

```
if x > 0
    a = sqrt(x)
else
    a = 0
end
```

```
if espressione logica 1
        istruzioni
elseif espressione logica 2
        istruzioni
...
else
        istruzioni
end
```

Esempio di `if-else-end` e `for`

Il seguente codice costruisce una matrice

```
for m = 1:k
    for n = 1:k
        if m == n
            a(m,n) = 2;
        elseif abs(m-n) == 2
            a(m,n) = 1;
        else
            a(m,n) = 0;
        end
    end
end
```

Per $k = 5$ si avrebbe:

```
a =
     2     0     1     0     0
     0     2     0     1     0
     1     0     2     0     1
     0     1     0     2     0
     0     0     1     0     2
```

Programmi in Matlab/Octave: script

- È una semplice raccolta di istruzioni o comandi Matlab/Octave senza interfaccia di input/output.
- Ad esempio, l'insieme di istruzioni

```
a=1; b=-3; c = 2;
delta = b^2-4*a*c;
if delta < 0
   disp('radici complesse')
else
   x1 = (-b-sqrt(delta))/(2*a)
   x2 = (-b+sqrt(delta))/(2*a)
end
```

una volta salvato in un m-file, di nome `eq2grado.m` diventa uno script.

- Per eseguirlo, è sufficiente scrivere dopo il prompt il nome senza estensione:

```
>> eq2grado
x1 =  1
x2 =  2
```

Programmi in Matlab/Octave: `function`

- Come lo script si definisce in un m-file, ad esempio `nomefun.m`
- La sua definizione inizia con la parola chiave `function`:

```
function [out1, ..., outn] = nomefun(in1, ..., inm)
```

- out1, $\cdots$, outn sono i parametri di output (opzionali);
- in1, $\cdots$, inm sono i parametri di input.

- Le variabili all'interno della `function` sono locali, il loro valore viene perduto al termine dell'esecuzione.
- Una funzione può esser invocata o da command window o da uno script.
- La `function` termina o all'ultima sua istruzione oppure quando si incontra per la prima volta il comando `return`.

Programmi in Matlab/Octave

Esempio

```
function [x1,x2,err] = radici(a,b,c)
err = 0;
delta = b^2-4*a*c;
if delta < 0
   err = 1; x1=0; x2=0;
   return
else
   x1 = (-b-sqrt(delta))/(2*a);
   x2 = (-b+sqrt(delta))/(2*a);
end
```

file `radici.m`

```
a=1; b=-3; c = 2;
[x1,x2,err] = radici(a,b,c)
```

file `scriptradici.m`

```
>> scriptradici
x1 =  1
x2 =  2
err = 0
```

```
>> delta
error: 'delta' undefined near line 99 column 1
```

Gestione dell'output su video

Comando `disp`

- Il comando `disp` serve per visualizzare una stringa di caratteri (testo racchiuso tra apici), o una variabile senza che ne venga visualizzato il nome.
-
```
>> x=1:2:19;
>> disp(x)
     1     3     5     7     9    11    13    15    17    19


>> disp('Questa e'' una stringa');
Questa e' una stringa
```

- Si possono visualizzare più dati in un unico comando `disp`:
  - Stringhe e variabili numeriche insieme

```
>> disp(['Convergenza in ',num2str(iter),' iterazioni']);
Convergenza in 23 iterazioni
```

- Il comando `num2str` converte un numero in una stringa.
  - Più variabili numeriche

```
>> disp([val,err,iter])
   2.1099e+00   1.0000e-10   2.3000e+01
```

- L'output del comando `disp` finisce sempre con un avanzamento di linea.

Gestione dell'output su video

Comandi `fprintf` e `sprintf`

- Per visualizzare un insieme di dati di output con un certo formato si usano i comandi `fprintf` e `sprintf` con i descrittori di formato:

Descrittore	Significato
%f	formato decimale (virgola fissa)
%e	notazione esponenziale
%i o %d	notazione per interi con segno
%g	la notazione piú compatta tra %f ed %e
%s	stringa di caratteri
\n	avanzamento di linea
\t	tabulazione
\b	backspace

- Tra % e il tipo di formattazione è possibile precisare il numero minimo di caratteri da stampare e il numero di cifre decimali dopo il punto.

Valore	%6.3f	%6.0f	%6.3e	%6.3g	%6.3d	%d
2	2.000	2	2.000e+000	2	002	2
0.02	0.020	2	2.000e−002	0.02	000	0
200	200.000	200	2.000e+002	200	200	200
`sqrt(2)`	1.414	1	1.414e+000	1.41	001	1

Come misurare la durata di un programma

- Per confrontare due programmi che risolvono lo stesso problema è utile misurare il tempo di CPU (wallclock time) impiegato per eseguirli.
- In Matlab/Octave questo tempo si misura in secondi con il comando: `cputime`.

Esempio:

```
>>> A = rand(5000); t = cputime; det(A); tfin=cputime; cpu=tfin-t
cpu =  32.500
```

Esercizio

Si crei una matrice quadrata random A di dimensione variabile da $n = 200$ a $n = 8000$ (con passo 200), e un vettore v lungo n. Misurare il tempo di esecuzione del prodotto $A * v$.

Prodotto matrice vettore

Soluzione

Scriviamo lo script `matvet.m`

```
n=8000; step=200;
A=rand(n,n);
v=rand(n,1);
T=[ ];
sizea=[ ];
for k=200:step:n
        AA=A(1:k,1:k);
        vv=v(1:k);
        t=cputime;
        bb=AA*vv;
        tt=cputime-t;
        T=[T;tt];
        sizea=[sizea;k];
end
```

Grafico dei tempi

Usando il comando

```
>> plot(sizea,T)
```

otteniamo il grafico del tempo di esecuzione dell'algoritmo in funzione della dimensione della matrice.