



Struttura del Corso

Gli argomenti trattati nel corso saranno:

- Lezione Teoria 1 – Introduzione, presentazione del corso, codifica dell'informazione
- Lezione Teoria 2 – Rappresentazione dell'informazione in un computer
- Lezione Teoria 3 – Algebra booleana, introduzione e applicazioni nella programmazione
- Lezione Teoria 4 – Architettura dei calcolatori. HW, SW, Sistemi Operativi
- Lezione Teoria 5 – Algoritmi e strutture dati
- Lezione Teoria 6 – Implementazione di algoritmi notevoli (ordinamento , ricerca, ecc)
- **Lezione Programmazione - Matlab 1 – Introduzione, installazione, comandi di base, matrici**
- Lezione Programmazione - Matlab 2 – Input/Output (I/O), strutture di controllo e funzioni
- Lezione Programmazione - Matlab 3 – Sistemi Lineari e Algebra lineare
- Lezione Programmazione - Matlab 4 – Analisi matematica
- Lezione Programmazione - Matlab 5 – Funzioni nel dominio del tempo e della frequenza
- Lezione Programmazione - Matlab 6 – Analisi ed elaborazione dei segnali
- Lezione Programmazione - Matlab 7 – Ripasso e approfondimenti
- Esonero esame Programmazione Matlab (3/12/25)



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Introduzione

Matlab



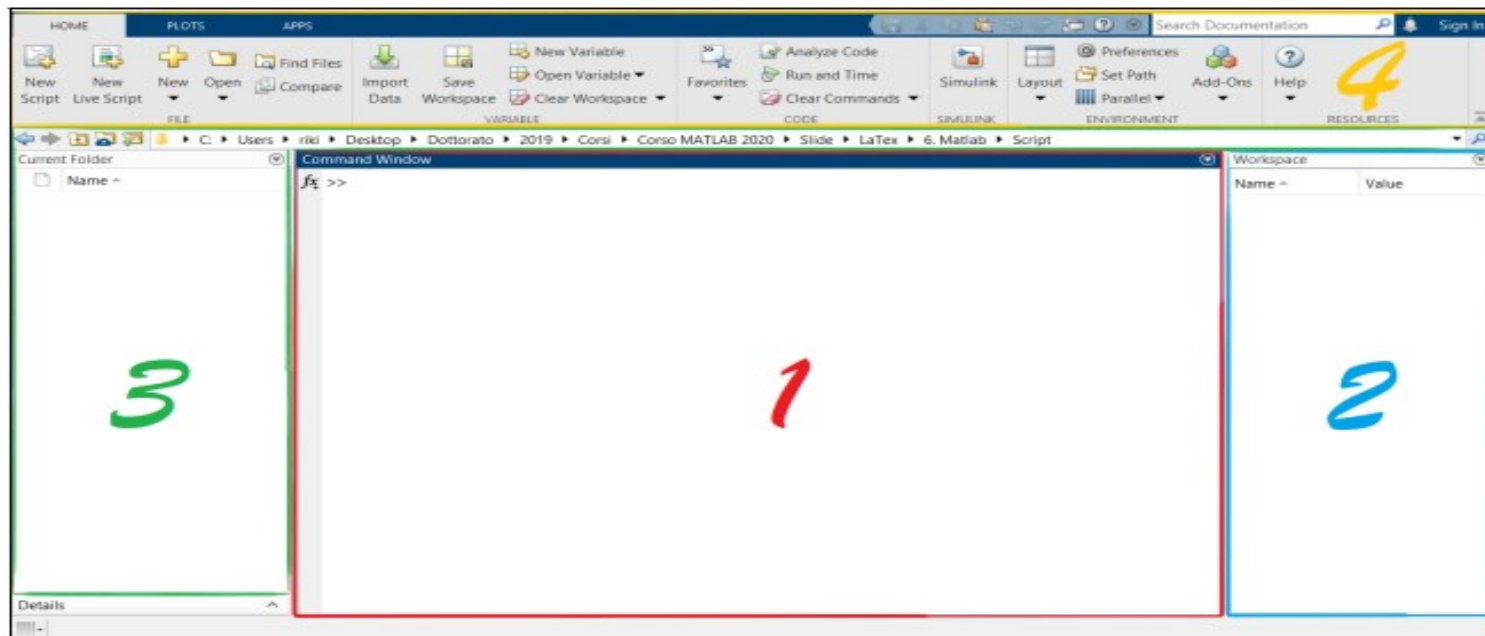
Matlab

- In questo corso l'attenzione sarà rivolta principalmente alla programmazione in ambiente MATLAB.
- MATLAB è l'abbreviazione di MATrix LABoratory: un ambiente integrato - IDE: Integrated Development Environment (software per lo sviluppo di applicazioni)- per il calcolo numerico molto usato in ambito scientifico e ingegneristico.
- Con MATLAB si intende anche il linguaggio di programmazione utilizzato in questo ambiente:
- E' impiegato per la risoluzione, rapida ed efficace, di una vastissima gamma di problemi, anche molto complessi.
- In MATLAB si possono integrare agevolmente tutte le operazioni necessarie: input dati (da file, da tastiera, ecc.), elaborazione, output risultati (scrittura file, visualizzazione e/o salvataggio grafici e plot, ecc).

<https://it.mathworks.com/academia/tah-portal/universita-degli-studi-di-trieste-40730846.html>



Matlab



- **1 - Command Window:** in questa sottofinestra, MATLAB può essere usato interattivamente inserendo comandi o espressioni dopo il simbolo di *prompt* “>>”;
- **2 - Workspace:** contiene la lista ed il contenuto delle variabili utilizzate;
- **3 - Current Folder:** percorso contenente i file di lavoro;
- **4 - Toolstrip:** contiene strumenti e funzionalità varie, suddivisi in tab.



Matlab

- Le variabili vengono definite mediante l'assegnazione (“←”):
- nome_variabile = espressione

```
>> x = 5  
x =  
    5
```

- I nomi delle variabili devono iniziare con una lettera; ci sono dei nomi che non è possibile usare perché utilizzati per altre funzionalità (parole chiave, funzioni native).
- In MATLAB il dato contenuto nella variabile identifica il tipo della variabile.
- Tipi più frequenti sono:
 - numerici: **double** (default) e **single** in virgola mobile; **int8**, **int16**, **int32**, **int64** e le loro versioni senza segno **uint8**, **uint16**, **uint32**, **uint64** per gli interi;
 - logici (booleani): **logical**;
 - testo: **char** per singoli caratteri, **string** per stringhe (diverse da array di char).

Tutti i nomi in Matlab sono “case sensitive”, x è diverso da X.



Matlab

- La conversione tra un tipo e l'altro (quando possibile) può essere fatta utilizzando il nome del tipo stesso.
- Esempio di conversione da double (default) a int32:

```
>> x = int32 (5.6)
x =
    int32
     6
```

- N.B. `x = Int32 (5.6)` produce un messaggio d'errore. La denominazione corretta è `int32` (i nomi sono tutti case sensitive).



Matlab

- Il comando `class` fornisce il tipo di una variabile o di una espressione:

```
>> class(10.8)
ans =
    'double'
```

dove `ans` è la variabile di default utilizzata per memorizzare le espressioni senza assegnazione.

- Operazioni scalari tra numeri: `+`, `-`, `*`, `/`, `^`:

```
>> y = ( (1.5+7) * 5.2 / 9 - 4) ^ 2
y =
    0.8301
```

- Con il comando `format short` vengono mostrate solo 4 cifre decimali (default) se il numero non è intero; `format long` permette di passare a 15 cifre decimali:

```
>> format long ;
>> y = ( (1.5+7) * 5.2 / 9 - 4) ^ 2
y =
    0.830123456790124
```

- Notazione esponenziale compatta in base 10:

(mantissa)e,E,d,D(esponente) = mantissa * 10^{esponente}

```
>> x = 1.5e-5 ;
>> y = 999.999E99 ;
>> z = 6.022d23 ;
>> w = .5D-5
w =
    5.0000e-06
```



Matlab

- Costanti: `pi` (π), `i`, `j` (unità immaginaria), `Inf` (infinito), `NaN` (Not a Number), `eps` (epsilon di macchina ϵ per le variabili `double`)

```
>> x = 1 + 2j
x =
    1.0000 + 2.0000i
>> x = 1 / 0
x =
    Inf
>> x = 0 / 0
x =
    NaN
```

```
>> eps % = eps(1)
ans =
    2.2204e-16
>> eps( single(1) )
ans =
    single
    1.1921e-07
```

- Gli scalari complessi sono di default dei `double`, con attributo `complex`. Utilizzando il comando `whos` si possono visualizzare tutte le informazioni di tutte le variabili utilizzate:

```
>> x = 1 ;
>> z = 1 + 2j ;
>> whos
```

Name	Size	Bytes	Class	Attributes
x	1x1	8	double	
z	1x1	16	double	complex

- Tutte le operazioni scalari `+`, `-`, `*`, `/`, `^` possono essere utilizzate con i numeri complessi:

```
>> ( 1 + 2j ) * ( -1.5 + 2.5j ) ;
ans =
   -6.5000 - 0.5000i
```



Matlab

- Tutte le principali funzioni matematiche sono già implementate in MATLAB (*funzioni native* o *built-in functions*). La lista completa di queste funzioni può essere reperita nella documentazione sotto *MATLAB* → *Mathematics* → *Elementary Math*:

- divisioni intere e arrotondamento: `mod`, `floor`, `ceil`, `round`, ecc.
- trigonometriche: `sin`, `asin`, `cos`, `acos`, `tan`, `atan`, `atan2`, ecc.
- iperboliche: `sinh`, `asinh`, `cosh`, `acosh`, `tanh`, `atanh`, ecc.
- esponenziali: `exp`, `log`, `sqrt`, ecc.
- numeri complessi: `abs`, `angle`, `conj`, `real`, `imag`, ecc.
- combinatoria: `factorial`, `nchoosek`, ecc.
- numeri casuali: `rand`, `randn`, ecc.

```
>> sin( pi )
ans =
    1.2246e-16
>> acos( -1 )
ans =
    3.1416
>> exp( 1 )
ans =
    2.7183
```

```
>> abs( 1 + j )
ans =
    1.4142
>> angle( -1 )
ans =
    3.1416
>> factorial( 5 )
ans =
    120
```

- Ad eccezione delle funzioni che operano su interi, tutte le altre funzioni sono definite anche per argomenti complessi:

```
>> exp( pi * j )
ans =
   -1.0000 + 0.0000i
```



Matlab

- Per le variabili Booleane si utilizza il tipo `logical`. I due possibili stati che può assumere una variabile di questo tipo possono essere definiti da `false` (`=logical(0)`) e `true` (`=logical(1)`):

```
>> false
ans =
    logical
     0
```

```
>> true
ans =
    logical
     1
```

- Una variabile Booleana può anche essere definita mediante un'operazione *relazionale* facendo uso degli operatori relazionali `>`, `<`, `>=`, `<=`, `==` (identità), `~=` (disuguaglianza):

```
>> x = 2.5 > 1
x =
    logical
     1
```

```
>> y = 5 == 5
y =
    logical
     1
```

- Le espressioni logiche (funzioni Booleane) sono definite dall'applicazione dei seguenti operatori logici alle variabili Booleane:
 - somma logica (+, OR): `x | y` oppure `or(x,y)`;
 - prodotto logico (`.`, AND): `x & y` oppure `and(x,y)`;
 - complemento logico (`~`, NOT): `~x` oppure `not(x)`;

```
>> ( 1 > 0 ) & ( .5 == .5 )
ans =
    logical
     1
```

```
>> ~( 0 | 1 ) == ~0 & ~1
ans =
    logical
     1
```



Esercizio

- Scrivere uno script che permetta di calcolare le due soluzioni x_1 e x_2 dell'equazione di secondo grado $ax^2 + bx + c = 0$
- Assegnare 3 valori (a scelta) per i coefficienti a , b e c .
- Si verifichi inoltre che i due valori calcolati siano effettivamente soluzione dell'equazione.



Soluzione

```
% Definizione coefficienti
a = 1 ;
b = 2 ;
c = 3 ;

% Calcolo discriminante
delta = sqrt( b^2 - 4*a*c ) ;

% Calcolo radici x1 e x2
x1 = ( -b + delta ) / ( 2*a )
x2 = ( -b - delta ) / ( 2*a )

% Verifica
p1 = a*x1^2 + b*x1 + c
p2 = a*x2^2 + b*x2 + c
```



Matrici

- MATLAB è l'abbreviativo di MATrix LABoratory: è perciò espressamente concepito per operare su grandezze matriciali. L'uso delle matrici, con le relative operazioni, è l'elemento chiave di questo linguaggio.
- Ad esclusione di alcuni elementi particolari, ogni grandezza è trattata di default come una matrice. Ad esempio, qualsiasi variabile scalare è infatti trattata come una matrice 1×1 , come si può immediatamente verificare attraverso il comando **size** che restituisce le dimensioni (numero di righe e di colonne) dell'argomento passato:

```
>> size(1)
ans =
     1     1
```

- In MATLAB una matrice **A** di dimensione $m \times n$ (array bidimensionale) è un insieme di elementi dello stesso tipo (valori numerici, logici o testo) organizzati secondo m righe e n colonne. Ogni elemento a_{ij} è identificato dai suoi indici i (riga) e j (colonna):

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$



Matrici: Concatenazione (1)

- Un vettore riga $\mathbf{r}$ è un caso speciale di matrice con una sola riga, quindi di dimensione $1 \times n$, un vettore colonna $\mathbf{c}$ è un caso speciale di matrice con una sola colonna, quindi di dimensione $n \times 1$. Nei vettori (array monodimensionali) è sufficiente un solo indice per identificare ogni elemento:

$$\mathbf{r} = [r_1 \quad r_2 \quad \cdots \quad r_n] \qquad \mathbf{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}$$

- È possibile utilizzare array con più di 2 dimensioni, per esempio nel caso di un'immagine a colori dove sono necessarie 3 dimensioni (2 dimensioni per l'indicizzazione spaziale dei pixel, 1 dimensione per l'indice del canale).
- Un vettore riga $\mathbf{r}$ si può definire esplicitamente a partire dagli elementi che lo compongono mediante la concatenazione in riga:

```
>> r = [ 4 7 1 -8 ]  
r =  
     4     7     1    -8
```

```
>> r = [ 4 , 7 , 1 , -8 ]  
r =  
     4     7     1    -8
```

- Nel precedente caso $\mathbf{r}$ sarà un vettore di tipo **double** in quanto definito a partire da 4 numeri che sono tutti assunti di tipo **double** di default.



Matrici: Concatenazione (2)

- L'uso della concatenazione (in riga) è possibile non solo a partire dai valori scalari ma anche su vettori (riga) a loro volta:

```
>> a = [ 1 2 ] ;  
>> b = [ 4 , 5 ] ;  
>> c = [ 7.5 , 8.9 ] ;  
>> [ a , b c ]  
ans =  
    1.0000    2.0000    4.0000    5.0000    7.5000    8.9000
```

- Un vettore colonna c si può definire esplicitamente a partire dagli elementi che lo compongono mediante la concatenazione in colonna. Anche in questo caso la concatenazione (in colonna) può avvenire su vettori (colonna) a loro volta:

```
>> c = [ 4 ; 7 ; -8 ]  
c =  
     4  
     7  
    -8
```

```
>> a = [ 1 ; 2 ] ;  
>> b = [ 3 ; 4 ; 5.5 ] ;  
>> [ a ; b ]  
ans =  
    1.0000  
    2.0000  
    3.0000  
    4.0000  
    5.5000
```



Matrici: Concatenazione (3)

- Combinando le concatenazioni in riga ed in colonna, è possibile definire esplicitamente una matrice:

```
>> A = [ 0 1 2 ; 3 5 8 ; 5 0 5 ]
A =
     0     1     2
     3     5     8
     5     0     5
```

```
>> A = [ 1 0 ; 0 1 ] ;
>> B = [ 1 2 ; 3 4 ] ;
>> C = [ 0 0 ; 0 0 ] ;
>> D = [ 5 0 ; 0 5 ] ;
>> [ A B ; C D ]
```

```
ans =
     1     0     1     2
     0     1     3     4
     0     0     5     0
     0     0     0     5
```

- L'accesso in lettura o in assegnazione agli elementi di una matrice A avviene mediante l'uso di indici (i,j,k interi):
 - A(i,j): elemento a_{ij} di una matrice;
 - A(i) oppure A(1,i): elemento a_i di un vettore riga;
 - A(i) oppure A(i,1): elemento a_i di un vettore colonna;
 - A(k): elemento a_{ij} di una matrice mediante indice lineare k calcolato per colonne (*column-major*):

$$A = \begin{bmatrix} A(1,1) & A(1,2) & \cdots & A(1,n) \\ A(2,1) & A(2,2) & \cdots & A(2,n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A(m,1) & A(m,2) & \cdots & A(m,n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(1) & A(m+1) & \cdots & \cdot \\ A(2) & A(m+2) & \cdots & \cdot \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ A(m) & A(2m) & \cdots & A(m*n) \end{bmatrix}$$



Vettori: operatore colon (:) e linspace

- Quando è necessario creare un vettore (riga) di numeri che vanno da $v1$ a $v2$ con passo costante **step** noto, si utilizza la notazione “:” (*colon*):

$v1:step:v2$

Non è necessario nè che $v2 > v1$ nè che **step** sia una frazione intera di $v2 - v1$, ma devono avere segno concorde:

```
>> r = 1 : .5 : 2.2
```

```
r =  
    1.0000    1.5000    2.0000
```

```
>> r = 10 : -1 : 8
```

```
r =  
    10     9     8
```

- Quando il passo è unitario (**step=1**), si utilizza la notazione compatta $v1:v2$

```
>> r = .5 : 6
```

```
r =  
    0.5000    1.5000    2.5000    3.5000    4.5000    5.5000
```

- Nel caso sia invece necessario ottenere il vettore (riga) di n numeri che vanno esattamente da $v1$ a $v2$ con spaziatura uniforme, si utilizza la seguente funzione:

`linspace(v1,v2,n)`

```
>> r = linspace(0,1,6)
```

```
r =  
    0    0.2000    0.4000    0.6000    0.8000    1.0000
```



Matrici – accesso in lettura e in assegnazione

- Accesso in lettura o assegnazione:

```
>> A = [ 1 4 7 ; ...  
        2 5 8 ; ...  
        3 6 9 ] ;  
  
>> A(3,3)  
ans =  
      9  
  
>> A(9)  
ans =  
      9
```

```
>> A(3,3) = 100  
A =  
      1      4      7  
      2      5      8  
      3      6    100  
  
>> A(9) = -1  
A =  
      1      4      7  
      2      5      8  
      3      6     -1
```

- Gli indici usati per l'accesso possono essere a loro volta dei vettori per effettuare estrazioni o assegnazioni vettoriali/matriciali (v_i, v_j, v_k vettori di interi):
 - $A(v_i, v_j)$: sottomatrice di A individuata dall'intersezione delle righe v_i con le colonne v_j ;
 - $A(v_i)$ oppure $A(1, v_i)$: vettore riga degli elementi di A , a sua volta vettore riga, con indice v_i ;
 - $A(v_i)$ oppure $A(v_i, 1)$: vettore colonna degli elementi di A , a sua volta vettore colonna, con indice v_i ;
 - $A(v_k)$: vettore degli elementi della matrice A individuati dagli indici lineari v_k . $A(v_k)$ è vettore colonna se v_k è vettore colonna, riga in caso contrario.



Matrici – accesso in lettura e in assegnazione

- Lettura o assegnazione matriciale con due indici:

```
>> A = [ 0 1 2 ; ...  
        3 5 8 ; ...  
        9 0 9 ] ;  
>> vi = 1:2 ; % oppure [1 2]  
>> vj = 2:3 ; % oppure [2 3]  
>> A(vi,vj)  
ans =  
     1     2  
     5     8
```

```
>> A = [ 0 1 2 ; ...  
        3 5 8 ; ...  
        9 0 9 ] ;  
>> vi = 1:2 ;  
>> vj = 2:3 ;  
>> A(vi,vj) = [ -2 -3 ; ...  
               -4 -5 ]  
A =  
     0     -2     -3  
     3     -4     -5  
     9      0      9
```

- Lettura o assegnazione vettoriale con un indice lineare:

```
>> A = [ 0 1 2 ; ...  
        3 5 8 ; ...  
        9 0 9 ] ;  
>> vk = 1:5 ;  
>> A(vk)  
ans =  
     0      3      9      1      5
```

```
>> A = [ 0 1 2 ; ...  
        3 5 8 ; ...  
        9 0 9 ] ;  
>> vk = 1:5 ;  
>> A(vk) = 11:15  
A =  
    11    14      2  
    12    15      8  
    13      0      9
```

- Indici particolari: **end** (ultimo valore per quell'indice) e ":" (colon, tutti i valori per quell'indice)

```
>> A = [ 1 2 ; 3 4 ] ;  
>> A(end,:)   
ans =  
     3      4
```



Matrici – trasposta (coniugata)

- In MATLAB l'operatore di trasposizione (coniugata) è l'apice ' :

```
>> v = [ 1 ; 2 ; 3 ] ; % colonna  
>> v'  
ans =  
     1     2     3
```

```
>> A = [ 0 1 2 ; ...  
        3 5 8 ] ;  
>> A'  
ans =  
     0     3  
     1     5  
     2     8
```



Matrici – reshape

- Data una matrice A di dimensione $m \times n$, $A(:)$ fornisce quindi il vettore colonna di tutti gli elementi di A presi per colonne. L'operazione inversa può essere eseguita mediante la funzione **reshape**:

`reshape( A_in , m , n )`

che fornisce una matrice $m \times n$ riempita con tutti gli elementi della matrice A_in , seguendo sempre l'ordine per colonne. Ovviamente il numero totale degli elementi di A_in deve essere $m \cdot n$:

```
>> v = [ 1 2 3 4 ] ;  
>> reshape( v , 2 , 2 )  
ans =  
     1     3  
     2     4
```

```
>> A = [ 1 3 ; ...  
        2 4 ] ;  
>> reshape( A , 4 , 1 ) % = A(:)  
ans =  
     1  
     2  
     3  
     4
```



Matrici: size, length, zeros, eye, ones

- Alcune funzioni utili: `size(A)` restituisce le dimensioni di `A` (numero di righe e di colonne) sotto forma di vettore; `size(A,dim)` restituisce il numero di righe (`dim=1`) o di colonne (`dim=2`); `length(A)` restituisce la massima delle dimensioni di una matrice `A`, corrispondente quindi alla lunghezza nel caso di un vettore riga/colonna:

```
>> A = reshape( 1:6 , 2 , 3 ) ;  
>> size_A = size( A )  
size_A =  
      2      3
```

```
>> v = linspace( 0 , 1 , 1000 ) ;  
>> length( v )  
ans =  
    1000
```

- Si possono inizializzare matrici nulle e matrici identità, di dimensione $m \times n$ e di tipo `type`, utilizzando rispettivamente:

`zeros( m , n , type )`

```
>> Z = zeros( 3 , 2 , 'int32' )  
Z =  
   3×2 int32 matrix  
    0    0  
    0    0  
    0    0  
  
>> Z = zeros( 3 , 2 ) % double  
Z =  
    0    0  
    0    0  
    0    0
```

`eye( m , n , type )`

```
>> I = eye( 3 , 3 , 'int32' )  
I =  
   3×3 int32 matrix  
    1    0    0  
    0    1    0  
    0    0    1  
  
>> I = eye( 3 , 3 ) % double  
I =  
    1    0    0  
    0    1    0  
    0    0    1
```



Esercizio

Creare una matrice quadrata A di dimensione $n \times n$ che soddisfi la proprietà $a_{ij} = i$ se $i = j$ (diagonale principale), $a_{ij} = 0$ altrimenti.



Soluzione

Un possibile metodo per risolvere il problema è quello di utilizzare la funzione `zeros` per allocare una matrice nulla delle dimensioni richieste e successivamente utilizzare l'indicizzazione lineare per assegnare i valori sulla diagonale.

```
% Dimensione
n = 5 ;

% Allocazione con matrice nulla
A = zeros( n , n ) ;

% Vettore dei valori diagonali
vi = 1 : n ;

% Vettore degli indici lineari degli elementi diagonali
vk = 1 : (n+1) : n^2 ;

% Assegnazione vettoriale dei termini diagonali
A(vk) = vi
```

- Dall'esecuzione del precedente script si ottiene:

```
A =
    1     0     0     0     0
    0     2     0     0     0
    0     0     3     0     0
    0     0     0     4     0
    0     0     0     0     5
```



Operazioni con matrici

- MATLAB è nato per operare su matrici, perciò le operazioni elementari $+$, $-$, $*$, $^$ sono nativamente definite in senso matriciale/algebrico:
 - $A+B$, $A-B$: somma $\mathbf{A} + \mathbf{B}$, $a_{ij} + b_{ij}$, differenza $\mathbf{A} - \mathbf{B}$, $a_{ij} - b_{ij}$, tra due matrici della stessa dimensione (elemento per elemento);
 - $u*A$: prodotto scalare $\times$ matrice $u\mathbf{A}$, $u \cdot a_{ij}$;
 - $A*B$: prodotto matriciale $\mathbf{AB}$ (righe per colonne);
 - A^n : prodotto matriciale di una matrice quadrata per se stessa n volte
 $\underbrace{\mathbf{AA} \cdots \mathbf{A}}_{n \text{ volte}}$

```
>> A = [ 1 2 ; ...  
        3 4 ] ;  
  
>> 3 * A  
ans =  
     3     6  
     9    12  
  
>> v = [ 1 ; 1.5 ] ; % colonna  
>> A * v  
ans =  
     4  
     9  
  
>> v' * A  
ans =  
    5.5000    8.0000
```

```
>> v' * v % Prodotto scalare  
ans =  
    3.2500  
  
>> A = [ 1 1 ; ...  
        0 1 ] ;  
>> A ^ 15  
ans =  
     1    15  
     0     1  
  
>> ( A - eye(2,2) ) ^ 2  
ans =  
     0     0  
     0     0
```



Operazioni con matrici

- Sono possibili altre operazioni elementari, in forma compatta, non direttamente definite in senso algebrico:
 - $u+A$: somma scalare+matrice, $u + a_{ij}$, (ad ogni elemento di A viene sommato u);
 - $r+A$: somma vettore riga+matrice, ad ogni riga di A viene sommato il vettore riga r ;
 - $c+A$: somma vettore colonna+matrice, ad ogni colonna di A viene sommato il vettore colonna c ;
 - $(A \text{ .* } B)$, $(A \text{ ./ } B)$, $(A \text{ .}^{\wedge} B)$: operazioni elemento per elemento (*element-wise*). Come per la somma, A e B possono essere scalari, vettori riga/colonna o matrici, di dimensione opportuna.

```
>> A = [ 1 2 ; ...  
        3 4 ] ;  
  
>> 5 + A  
ans =  
     6     7  
     8     9  
  
>> r = [ 1 10 ] ;  
>> r + A  
ans =  
     2     12  
     4     14  
  
>> c = [ 1 ; 10 ] ;  
>> c + A  
ans =  
     2     3  
    13    14
```

```
>> B = [ 0 1 ; ...  
        2 0 ]  
  
>> A .* B  
ans =  
     0     2  
     6     0  
  
>> A ./ B  
ans =  
      Inf    2.0000  
    1.5000      Inf  
  
>> A .^ B  
ans =  
     1     2  
     9     1
```



Esercizio

- Dato il vettore riga $\mathbf{a}=(a_0, a_1, \dots, a_n)$ dei coefficienti del polinomio

$$p(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n$$

si calcoli il polinomio per $x = \pi$.



Soluzione

- Bisognerà innanzitutto determinare n a partire dal vettore a dato, utilizzando poi la forma

$$p(x) = \underbrace{(a_0, a_1, \dots, a_n)}_a \times \underbrace{(x^0, x^1, \dots, x^n)}_{\text{potenze_x}}^T = a * \text{potenze_x},$$

per calcolare il polinomio attraverso un prodotto scalare.

```
% x vale pi greco
x = pi ;

% Grado del polinomio
n = length( a ) - 1 ;

% Vettore riga degli esponenti
e = 0 : n ;

% Vettore riga delle potenze di x (scalare .^ vettore, elemento per elem.)
potenze_x = x .^ e ;

% Calcolo del polinomio attraverso prodotto scalare
p = a * potenze_x ;
```



Esercizio

- Dato il vettore riga $\mathbf{a}=(a_0, a_1, \dots, a_n)$ dei coefficienti del polinomio

$$p(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_nx^n$$

si calcoli il polinomio su $N = 1000$ valori di x equidistanziati nell'intervallo $[0, \pi]$.

- Utilizzeremo sempre la forma matriciale riga-colonna:

$$\mathbf{p}(\mathbf{x}) = \underbrace{(a_0, a_1, \dots, a_n)}_{\mathbf{a}} \times \underbrace{\begin{pmatrix} x_1^0 & x_2^0 & \dots & x_N^0 \\ x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_N^1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_1^n & x_2^n & \dots & x_N^n \end{pmatrix}}_{\text{potenze_x}} = \mathbf{a} * \text{potenze_x}$$

```
% Vettore riga dei N=1000 valori equidistanziati di x su [0,pi]
x = linspace( 0 , pi , 1000 ) ;

% Grado del polinomio
n = length( a ) - 1 ;

% Vettore colonna degli esponenti
e = (0 : n)' ;

% Matrice delle potenze di x (vettore riga .^ vettore colonna)
potenze_x = x .^ e ;

% Calcolo del polinomio attraverso prodotto matriciale
p = a * potenze_x ;
```



Soluzione

- Utilizzeremo sempre la forma matriciale riga-colonna:

$$\mathbf{p}(\mathbf{x}) = \underbrace{(a_0, a_1, \dots, a_n)}_{\mathbf{a}} \times \underbrace{\begin{pmatrix} x_1^0, x_2^0, \dots, x_N^0 \\ x_1^1, x_2^1, \dots, x_N^1 \\ \vdots \quad \vdots \quad \dots \quad \vdots \\ x_1^n, x_2^n, \dots, x_N^n \end{pmatrix}}_{\text{potenze_x}} = \mathbf{a} * \text{potenze_x}$$

```
% Vettore riga dei N=1000 valori equidistanziati di x su [0,pi]
x = linspace( 0 , pi , 1000 ) ;

% Grado del polinomio
n = length( a ) - 1 ;

% Vettore colonna degli esponenti
e = (0 : n)' ;

% Matrice delle potenze di x (vettore riga .^ vettore colonna)
potenze_x = x .^ e ;

% Calcolo del polinomio attraverso prodotto matriciale
p = a * potenze_x ;
```



Funzioni con argomenti matriciali

- Essendo MATLAB nato per operare su matrici/vettori, le funzioni elementari sono nativamente definite per operare su argomenti matriciali/-vettoriali, comprese le funzioni per la conversione di tipo: la funzione viene valutata elemento per elemento:

```
>> x = linspace( 0 , pi/2 , 7 ) ; % Vettore riga 1x7
>> y = sin( x )
y =
    0    0.2588    0.5000    0.7071    0.8660    0.9659    1.0000
>> int32( y )
ans =
    1x7 int32 row vector
    0    0    0    1    1    1    1
```

- Vi sono poi alcune utili funzioni pensate per operare su grandezze tipicamente matriciali/vettoriali:
 - `sum`, `cumsum`, `prod`, `cumprod`: somma e prodotto totale/cumulativo di tutti gli elementi di una matrice, per riga o per colonna;
 - `min`, `max`: minimo e massimo (ed eventualmente il relativo indice) degli elementi di una matrice, per riga o per colonna.

```
>> v = [ 1 3 -2 7 0 ] ;
>> sum( v )
ans =
    9
>> max( v )
ans =
    7
```

```
>> A = [ 1 2 ; ...
        10 20 ] ;
>> sum( A , 1 )
ans =
    11    22
>> sum( A , 2 )
ans =
     3
    30
```



Esercizio

- Calcolare la somma delle seguenti potenze dei numeri naturali:

$$P_n = 1 + 2 + 3 + \cdots + n = \frac{n(n+1)}{2}$$

$$Q_n = 1^2 + 2^2 + 3^2 + \cdots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

e verificare che le somme siano corrette attraverso le formule indicate per $n = 10$.



Esercizio

```
% Scelta di un valore particolare per n
n = 10 ;

% Vettore riga degli interi da 1 a n
i = 1 : n ;

% Pn
Pn      = sum( i )
Pn_formula = n * ( n + 1 ) / 2

% Qn
Qn      = sum( i .^ 2 )
Qn_formula = n * ( n + 1 ) * ( 2*n + 1 ) / 6
```

- Dall'esecuzione del precedente script si ottiene:

```
Pn =
    55

Pn_formula =
    55
```

```
Qn =
   385

Qn_formula =
   385
```



Vettori: operatore colon (:) e linspace

- Matrici/vettori Booleani (ossia di tipo `logical`) sono definibili usando in maniera matriciale/vettoriale gli operatori relazionali `>`, `<`, `>=`, `<=`, `==`, `~=`:

```
>> a = [ 1 2 3 4 5 ] ;  
>> b = [ 5 4 3 2 1 ] ;  
>> v_booleano = a >= b  
v_booleano =  
    1×5 logical array  
    0    0    1    1    1
```

```
>> a = [ 1 2 3 4 5 ] ;  
>> v_booleano = a == 3  
v_booleano =  
    1×5 logical array  
    0    0    1    0    0
```

- Sono ovviamente possibili le espressioni logiche matriciali/vettoriali utilizzando in maniera matriciale/vettoriale gli operatori logici:

```
>> x = logical( [ 0 0 1 1 ] ) ;  
>> y = logical( [ 0 1 0 1 ] ) ;  
>> x & y  
ans =  
    1×4 logical array  
    0    0    0    1  
>> ~( x | y )  
ans =  
    1×4 logical array  
    1    0    0    0  
>> ~x & ~y  
ans =  
    1×4 logical array  
    1    0    0    0
```



Matrici Booleane

- È possibile utilizzare matrici/vettori Booleani per indicizzare, in lettura o assegnazione, altre matrici/vettori con lo stesso numero di elementi per quell'indice:

```
>> v = [ 1 9 2 4 7 ] ;  
% Ottenere da v i numeri > 3  
>> ix = v > 3  
ix =  
    1×5 logical array  
    0    1    0    1    1  
>> v( ix )  
ans =  
     9     4     7
```

```
>> A = reshape( 1:16 , 4 , 4 )  
A =  
     1     5     9    13  
     2     6    10    14  
     3     7    11    15  
     4     8    12    16  
% Ottenere prima e ultima riga di A  
>> ix = logical( [ 1 0 0 1 ] ) ;  
>> A( ix , : ) % = A( [1 4] , : )  
ans =  
     1     5     9    13  
     4     8    12    16
```

- Funzioni che operano su matrici/vettori Booleani:
 - **any**: OR applicato a tutti gli elementi di una riga, di una colonna o sulla matrice intera;
 - **all**: AND applicato a tutti gli elementi di una riga, di una colonna o sulla matrice intera;
 - **find**: restituisce gli indici degli elementi **true** di una matrice; l'indice può essere lineare oppure doppio, riga e colonna.

```
>> any( 10:15 > 13 )  
ans =  
    logical  
     1
```

```
>> find( [10 11 12 13 14 15] > 13 )  
ans =  
     4     5
```



Esercizio

- Determinare un'approssimazione dei 3 zeri della funzione

$$f(x) = \sin(2x) - x$$

nell'intervallo $[-\pi/2, \pi/2]$. Si utilizzi la funzione **sign(x)** che restituisce ± 1 a seconda del segno di x (e 0 se $x=0$).



Esercizio

- Basterà calcolare la funzione in maniera vettoriale su un numero sufficientemente elevato di valori di x e cercare dove la funzione cambia segno:

```
% Suddividiamo l'intervallo dato in 1000 punti (per esempio)
x = linspace( -pi/2 , pi/2 , 1000 ) ;

% Calcolo funzione
f = sin(2*x) - x ;

% Segno della funzione
segno_f = sign(f) ;

% Cerchiamo dove il segno della funzione cambia
ix = find( segno_f(1:end-1) ~= segno_f(2:end) ) ;

% Approssimazione degli zeri (media di due punti adiacenti)
zeri = ( x(ix) + x(ix+1) ) / 2
```

- Dall'esecuzione del precedente script si ottiene (utilizzando `format long`):

```
zeri =
-0.946565954685213      0      0.946565954685213
```

ed i valori esatto sono $x = \pm 0.947747133516990$, oltre ad $x = 0$.



Esercizio

Disegnare il grafico della funzione $\frac{\sin x}{x}$ nell'intervallo $[-4\pi, 4\pi]$

(per disegnare il grafico utilizzare la funzione *plot*)



Soluzione

```
x = (4* pi ) * linspace ( -1 , 1 , 500) ;    % Ascissa x = [ -4 pi , 4 pi ]
```

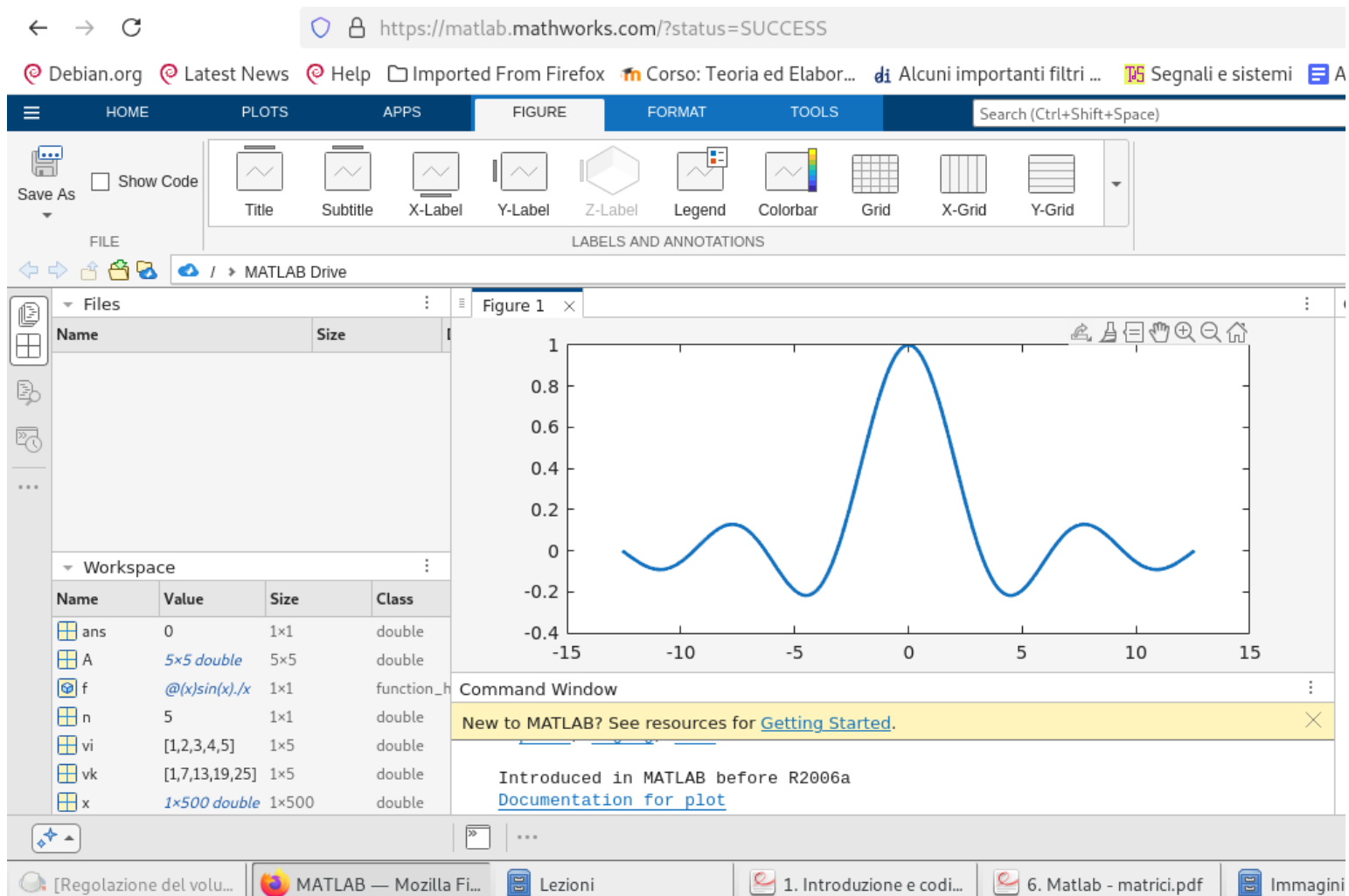
```
f = @ ( x ) sin ( x ) ./ x ;    % f ( x ) = sin ( x )/ x
```

```
y = f(x) ;    % Calcolo y = f ( x )
```

```
plot (x , y , 'LineWidth' , 2) ; % Plot con spessore doppio
```



Risultato





Energia

Energia di un segnale tempo-continuo in un intervallo $[a, b]$

$$E_x = \int_a^b |x(t)|^2 dt$$

Dato che eseguiamo il calcolo numericamente, dobbiamo utilizzare un algoritmo per:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \sum_{i=0}^{i=n-1} (x_{i+1} - x_i) \frac{1}{2} [f(x_{i+1}) + f(x_i)]$$

Se dividiamo $[a, b]$ in parti n parti uguali

$$x_{i+1} - x_i = \Delta x = \frac{b-a}{n}$$

Otteniamo

$$\begin{aligned} \int_a^b f(x) dx &\approx \frac{1}{2} \frac{b-a}{n} \sum_{i=0}^{i=n-1} [f(x_{i+1}) + f(x_i)] \\ \sum_{i=0}^{i=n-1} [f(x_{i+1}) + f(x_i)] &= \sum_{i=0}^{i=n-1} f(x_{i+1}) + \sum_{i=0}^{i=n-1} f(x_i) = \sum_{i=0}^{i=n-1} f(x_i) + f(b) + \sum_{i=0}^{i=n-1} f(x_i) \\ &= -f(a) + 2 \sum_{i=0}^{i=n-1} f(x_i) = -f(a) + 2 \left(\sum_{i=0}^{i=n-1} f(x_i) - f(b) \right) = -f(a) - 2f(b) + 2 \left(\sum_{i=0}^{i=n-1} f(x_i) \right) \\ \int_a^b f(x) dx &\approx \frac{(b-a)}{n} \left(\sum_{i=0}^{i=n-1} f(x_i) - \frac{1}{2} f(a) - \frac{1}{2} f(b) \right) \end{aligned}$$

- `W1.m`
- % Create a triangular pulse with width 0.4.
- % `fs = 10000;` % Sampling frequency (samples/sec)
- % `t = -1:1/fs:1;` % Time Vector
- % `w = .4;` % Triangle Width

```
fs = 10000; % Sampling frequency (samples/sec)
t = -1:1/fs:1; % Time Vector
w = .4; % Triangle Width
x = tripuls(t-0.5,w); % Sampled aperiodic triangle
plot(t,x);
xlabel('Time (sec)'); ylabel('Amplitude');
```

- % See also SQUARE,...
- % RECTPULSE,...

