Introduzione a Matlab

Credits to Luca Cassenti

MATLAB

- **MATLAB** (MATrix LABoratory)
  - Ambiente di sviluppo e linguaggio di programmazione per il calcolo numerico
  - Ottimizzato per operare su matrici (ma include anche altre funzionalità matematiche)
- MATLAB è uno strumento commerciale, su licenza NON gratuita
  - Licenza fornita agli studenti dal Politecnico
  - https://www.software.polimi.it/mathworks-matlab/

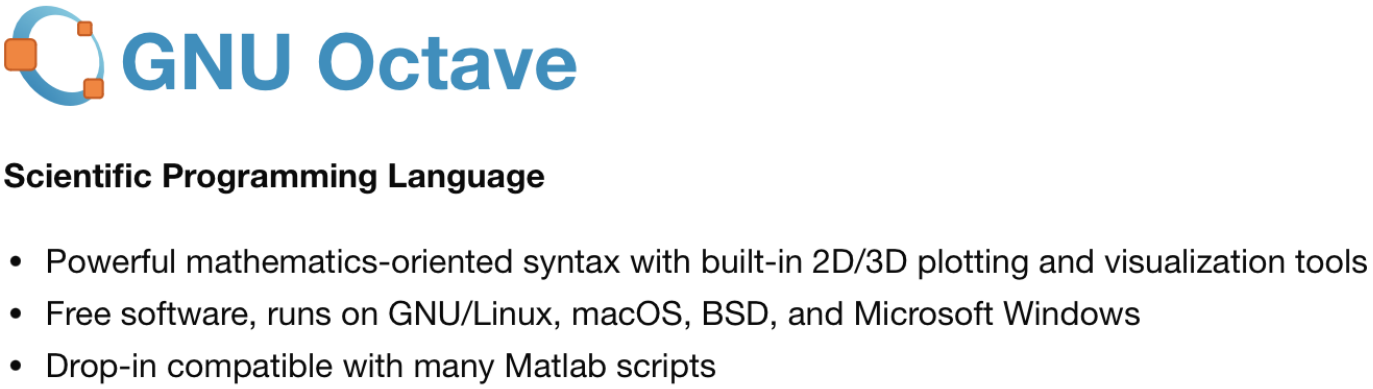
Analisi dei dati

Sviluppo di algoritmi

Creazione di modelli e applicazioni

Octave

- **Octave** è una soluzione alternativa sviluppata dall'universo open-source GNU
- Identico nella concezione e molto simile nell'utilizzo
- Disponibile gratuitamente



Caratteristiche di Matlab

- Linguaggio di alto livello
  - Abbastanza simile a linguaggio C
  - Possiede comandi sintetici per effettuare complesse elaborazioni numeriche
- **Linguaggio interpretato**, comandi e istruzioni
  - NON sono tradotte in codice direttamente eseguibile dalla macchina
  - Matlab invia istruzioni a un **interprete** (un altro programma) che li analizza ed esegue i comandi descritti nelle istruzioni
- Confronto MATLAB e C: https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-matlab-and-c-language/

Linguaggi interpretati

- L' interprete esegue le istruzioni contenute nel codice sorgente
- I programmi sono meno efficienti e meno portabili di quelli compilati
- Lo sviluppo è più facile
  - È possibile eseguire le istruzioni mentre si scrive il codice

Linguaggi dinamici

- Matlab è un **linguaggio dinamico** (non tipizzato)
  - Non è necessario dichiarare le variabili
    - Vengono definite automaticamente al primo assegnamento
  - Il tipo delle variabili è dinamico
    - A una variabile si possono assegnare valori di tipo diverso (es., scalari, stringhe, matrici)
    - Il tipo cambia automaticamente in base al valore assegnato

Matlab

- Matlab può far riferimento a tre cose diverse
  - Il linguaggi Matlab utilizzato per codificare i programmi
  - L'interprete Matlab invocato per eseguire i programmi
  - L'ambiente di sviluppo integrato (IDE) che permette di scrivere ed eseguire i programmi

Istruzioni e command window

- Le istruzioni possono essere inviate direttamente all'interprete se scritte nella command window (dopo il simbolo >>)
- Esempio di esecuzione di operazioni aritmetiche

```
>> 5 + 7
Ans = 12


>> 5 / 7
Ans = 0.7143
```

- **ans** è una variabile che contiene il risultato dell'ultima istruzione che non è un assegnamento

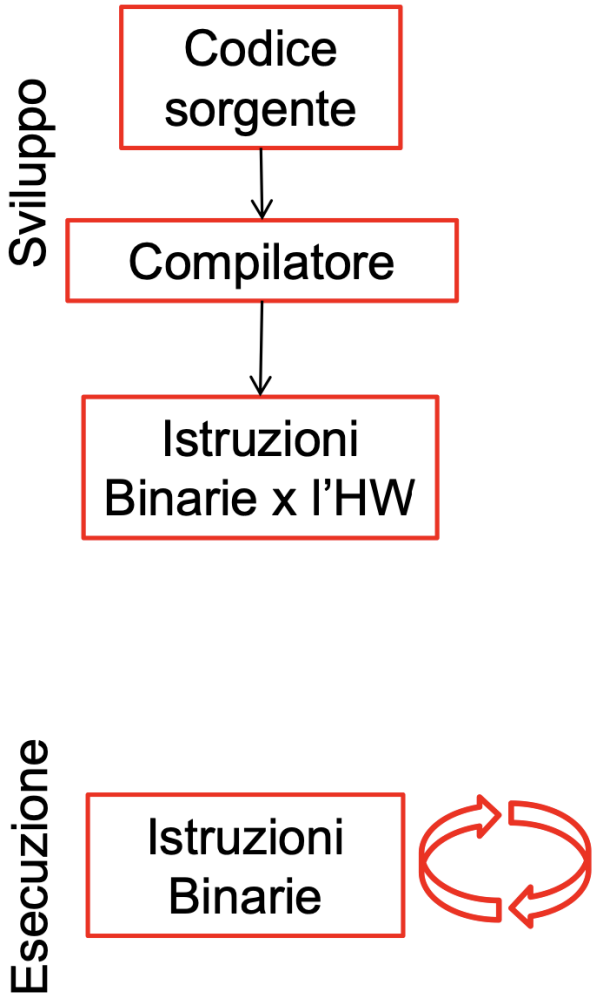
Altre istruzioni

```
>> 5 * 6
Ans = 30

>> 3 ^ 4
Ans = 81

>> 5 / 8
Ans = 0.625

>> 'a' + 2
Ans = 99
```

- I caratteri alfanumerici si indicano con l'apice singolo
- Sono legati agli interi mediante la tabella ASCII

Istruzioni e codice sorgente

- Le istruzioni possono essere contenute in un file sorgente
- Sono eseguite in maniera sequenziale
- L'esecuzione di un codice sorgente può essere visto come l'inserimento sequenziale delle istruzioni della command window



Il terminatore ';'

- Le istruzioni possono terminare con ; ma non è obbligatorio
- Di default, il risultato di ogni istruzione viene visualizzato nella command window
- Terminare un istruzione con ; blocca la visualizzazione del risultato
  - Maggiore velocità di esecuzione
  - Visualizzazione più compatta
- Inserire sempre il ; a meno che non si voglia ispezionare il valore di una variabile a scopo di debugging

Array (e variabili)

- Le variabili sono create mediante **inizializzazione**, cioè alla prima istruzione in cui compaiono
- Non occorre dichiarare le variabili come in C
- Modi di inizializzazione
  - **Assegnamento**
  - Lettura dati da tastiera
  - Lettura da file

Istruzione di Assegnamento

- Come in C,

```
NomeVariabile = espressione
```

- A differenza del C
  - Non si deve dichiarare la variabile **nomeVariabile** precedentemente
  - L'assegnamento comporta una dichiarazione contestuale della variabile **nomeVariabile**
  - È possibile eseguire l'assegnamento tra array
  - Non è richiesto il ; a fine istruzione
  - Il risultato di un'operazione che non comporta un assegnamento viene assegnato alla variabile **ans**

Assegnamento ed inizializzazione

- Quando assegno un valore ad una variabile che non è stata inizializzata, la variabile viene creata

```
>> a = 7

a = 7
```

- Non è possibile assegnare ad una variabile il valore di una variabile che non esiste

```
>> a = v

Undefined function or variable 'v'
```

- Ottengo un messaggio di errore

Array

- In Matlab tutto è un array
  - **Scalari**: array 1x1
  - **Vettori**: array con una sola riga o colonna
  - **Matrici**: array con due dimensioni
  - **Matrici multidimensionali**: array con più di 2 dimensioni
- Il **tipo** delle variabili è definito dal valore che contengono (definito al momento dell'assegnamento)

Workspace

- Tutte le variabili vengono salvate nel **workspace**, che corrisponde allo spazio di memoria del programma
- E' possibile visualizzare le variabili
  - Il comando **whos** visualizza tutte le variabili
  - Il comando **whos nomeVariabile** visualizza solo nomeVariabile
  - Nel pannello del workspace
- Il comando **clear** pulisce il workspace e rimuove tutte le variabili

```
>> clear
>> whos
>>
```

Operazioni

Input	output	Commento
1234/6	ans = 205.6667	calcolo di un valore scalare
a=1234/6	a = 205.6667	assegnamento alla variabile a del risultato di 1234/6
2/5	ans = 0.4	divisione
5/0	ans = inf	divisione per zero
5^2	ans = 25	potenza
1+1==2 1+1~=2	ans = 1 ans = 0	notazione: 1 = vero, 0 = falso, == uguale, ~= diverso

Definizione di vettore

- I vettori sono definiti tra parentesi quadre
  - In un vettore riga gli elementi sono separati da virgole o spazi
  - In un vettore colonna gli elementi sono separati da ; (o andando a capo)
  - Gli indici partono da **1**!

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

a = 1 2 3

>> a = [1, 2, 3]

a = 1 2 3

>> a = [1; 2; 3]

a = 1
    2
    3
```

Trasposizione

- L'operatore ' esegue la trasposizione (trasforma vettore riga in vettore colonna e viceversa)

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

a = 1 2 3

>> a'

ans = 1

      2

      3
```

Vettori ad incremento regolare

- L'operatore : definisce vettori ad incremento regolare

```
[inizio : step : fine]
```

- Definisce un vettore che ha:
  - primo elemento `inizio`
  - Secondo elemento `inizio + step`
  - Terzo elemento `inizio + 2*step`
  - …
  - Fino al più grande valore `inizio + k*step` che non supera `fine` (`fine` potrebbe non essere incluso)

Vettori ad incremento regolare

- Il valore `step` può essere qualsiasi, anche negativo
- Se non precisato `step` vale 1
- Le parentesi [] possono essere omesse

```
>> 1:3
ans = 1 2 3
```

Modifica di un array

- E' possibile modificare i valori di un array mediante assegnamento
  - Di un singolo elemento (come in C)
  - Di una parte dell'array
  - Di tutto l'array

Assegnamento tra array

- In Matlab è possibile eseguire assegnamenti tra array

```
nomeArray1 = nomeArray2
```

- Copia i valori contenuti in `nomeArray2` in `nomeArray1`
- Non è necessario che entrambi gli array abbiano le stesse dimensioni

```
>> a = [1 2 3];
>> a = a + 1
a = 2 3 4
```

Accedere ad un vettore

- Per accedere ad un elemento del vettore

`nomeVettore(indice)`

- Restituisce il valore contenuto in `nomeVettore` alla posizione `indice`
- Come in c, una volta specificato l'indice si accede all'elemento del vettore come ad una variabile (per assegnamento e altre operazioni)
- Differenze da C
  - Si usano le parentesi tonde () invece che quadre []
  - Il primo elemento di `nomeVettore` è alla posizione 1 (**l'indice è sempre positivo**)

Accedere ed assegnamento

- È possibile modificare il valore di un elemento
  - Accedendo all'elemento
  - Assegnando un nuovo valore all'elemento

```
>> a = [1 : 3]
a = 1 2 3
>> a(3) = 6
a = 1 2 6
```

- È possibile eseguire l'assegnamento tra vettori anche quando due vettori hanno dimensioni diverse
  - Il vettore viene ridefinito

```
>> b = [1 : 4]
b = 1 2 3 4
>> a = b
a= 1 2 3 4
```

Accedere ed assegnamento

- Viene segnalato un errore quando si accede ad una posizione non corrispondente ad un elemento dell'array

```
>> a = [1 : 3]

a = 1 2 3

>> a(2)

a = 2

>> a(4)

Index exceeds matrix dimensions

>> a (1.3)

Subscript indices must either be real positive
integers or logicals
```

Accedere ed assegnamento

- È possibile usare una variabile per definire l'indice

```
>> ii = 2;
>> a(ii)
ans = 2
>> a(ii) = a(ii-1) + a(ii+1)
a = 1 4 3
```

Operazioni aritmetiche

- Le operazioni aritmetiche sono quelle dell'algebra lineare
  - La **somma tra vettori** `c = a + b` è definita per elemento
  - È possibile solo quando `a` e `b` hanno la stessa dimensione

`c(i) = a(i) + b(i) ∀i`

- Prodotto tra vettori è il prodotto riga per colonna
- `c = a * b` restituisce uno scalare

`c` $= \sum_i a(i)b(i)$

  - `a` deve essere vettore riga e `b` colonna
  - Devono avere lo stesso numero di elementi

Eccezione per la somma

- Se sommo un vettore riga (1xn) e un colonna (mx1) ottengo una matrice

```
>> a = [1 : 3];
>> b = [1 : 4]';
>> a + b
ans=
     2  3  4
     3  4  5
     4  5  6
     5  6  7
```

- Replica per un numero di righe opportuno il vettore riga e per un numero di colonne opportuno il vettore colonna

Operazioni puntuali

- È possibile eseguire operazioni puntuali che si applicano ad ogni elemento del vettore separatamente

`c = a.* b` restituisce `c(i)= a(i)*b(i) ∀i`

`c = a./ b` restituisce `c(i)= a(i)/b(i) ∀i`

`c = a.^ b` restituisce `c(i)= a(i)^b(i) ∀i`

- Come in algebra lineare, le operazioni tra vettori e scalari corrispondono ad operazioni puntuali
- Se *k* è uno scalare e *b* un vettore

`c = k * b` (o `k.*b`) restituisce `c(i)= k*b(i) ∀i`

Elevamento a potenza

```
>> v1 = [2 3 5 4];
>> v1^2
Error using ^
Inputs must be a scalar and a square matrix.
To compute elementwise POWER, use POWER (.^)
instead.
```

- L'elevamento a potenza fa riferimento al prodotto vettoriale (`v1 * v1`)
- Per elevare a potenza ogni singolo elemento

```
>> v1.^2
ans = 4 9 25 16
```

- Equivale a `v1 .* v1`

Concatenare i vettori

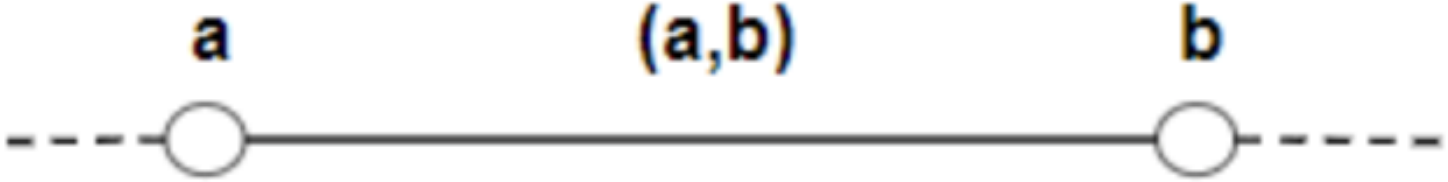
- L'operatore , e ; permette di concatenare vettori compatibili (entrambi riga o colonna)

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

a = 1 2 3

>> b = [a, a + 3, a + 6]

b = 1 2 3 4 5 6 7 8 9

>> b = [a, a +3]

b = 1 2 3 1 2 3 3
```

- Occhio agli spazi!

Concatenare i vettori: esempio

```
>> a = [0 7+1]

a = [0 8]

b = [a(2) 5 a]

b = [8 5 0 8]
```



Matrici

- Le matrici sono definite affiancando vettori di dimensioni compatibili
  - Usiamo gli operatori , (o spazio) e ; (o vai a capo)
  - L'operatore ' di trasposizione inverte le righe e le colonne della matrice

```
>> a = [1, 2; 3, 4]
a = 1 2
    3 4
>> a'
a= 1 3
   2 4
```

Operatore CAT

- La concatenazione avviene mediante operatore CAT
- Richiede dimensioni consistenti dei vettori

```
>> a = [1 : 3]
a = 1 2 3
>> b = [4; 5; 6];
>> A = [a;b]
Error
>> A = [a,b]
Error
>> A = [a;b']
A= 1 2 3
   4 5 6
```

Accedere agli elementi

- Per accedere agli elementi specificare un valore per ogni indice

```
>> nomeMatrice(indice1, indice2)
```

- Seleziona il valore alla riga `indice1` della colonna `indice2` nella variabile `nomeMatrice`

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

Operazioni Aritmetiche

- Array operation: elemento per elemento

```
>> a = [1, 2; 3, 4];
>> b = [2, 3; 5, 7];
>> a.*b
ans = 2  6
      15 28
```

- Matrix operation: regole dell'algebra lineare

```
>>a*b
ans = 12 17
      26 37
```

Divisione sinistra

- Serve per risolvere sistemi di equazioni lineari
- $A\,x = b$
- La soluzione è $x = A^{-1}\,b$ oppure $x = A \setminus b$ che corrisponde a calolare la matrice inversa (l'inversa di A rispetto al prodotto matriciale)

Estrarre una riga/colonna

- Per estrarre la seconda riga da una matrice `A`

```
riga= A(2,:)
```

- Per estrarre la terza colonna da una matrice `A`

```
colonna= A(:,3)
```

Creare matrici

- Esistono alcune funzioni per creare matrici comuni
  - Creare una matrice `A` *n x n* in cui tutti gli elementi sono 0

```
A=zeros(n)
```

- Creare una matrice `A` *n x m* in cui tutti gli elementi sono 0

```
A=zeros(n,m)
```

- Per creare una matrice `A` in cui tutti gli elementi sono 1

```
A=ones(n)
```

```
A=ones(n,m)
```

Creare matrici

- Esistono alcune funzioni per creare matrici comuni
  - Per creare una matrice diagonale

```
>> diag(1,2,3)
ans = 1 0 0
      0 2 0
      0 0 3
```

  - Per creare una matrici i cui elementi sono numeri casuali tra 0 e 1

```
rand(n)
rand(n,m)
```

Creare matrici

- Esistono alcune funzioni per creare matrici comuni
  - Per creare una matrici i cui elementi sono numeri casuali interi tra a e b

```
randi([a,b],n)
randi(([a,b],[n,m])
```

Determinare la dimensione di una matrice

- Per determinare la dimensione di una matrice si può usare size

```
>> A = [1,2,3;4,5,6];
>> size(A)
ans = 2 3
```

- Per determinare il numero di righe

```
>> size(A,1)
ans = 2
```

- Per determinare il numero di colonne

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

Calcolare la media di una matrice

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

- Per determinare la media di ogni colonna

```
>> mean(A)
ans = 2.5000    3.5000    4.5000
```

- Per determinare la media di ogni riga

```
>> mean(A,2)
ans = 2
       5
```

- Per determinare la media della matrice

```
>> mean(A,"all"))
ans = 3.5000
```

Sommare elementi di una matrice

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

- Per sommare ogni colonna

```
>> sum(A)
ans = 5  7  9
```

- Per sommare ogni riga

```
>> sum(A,2)
ans = 6
      15
```

- Per determinare la somma di tutti gli elementi della matrice

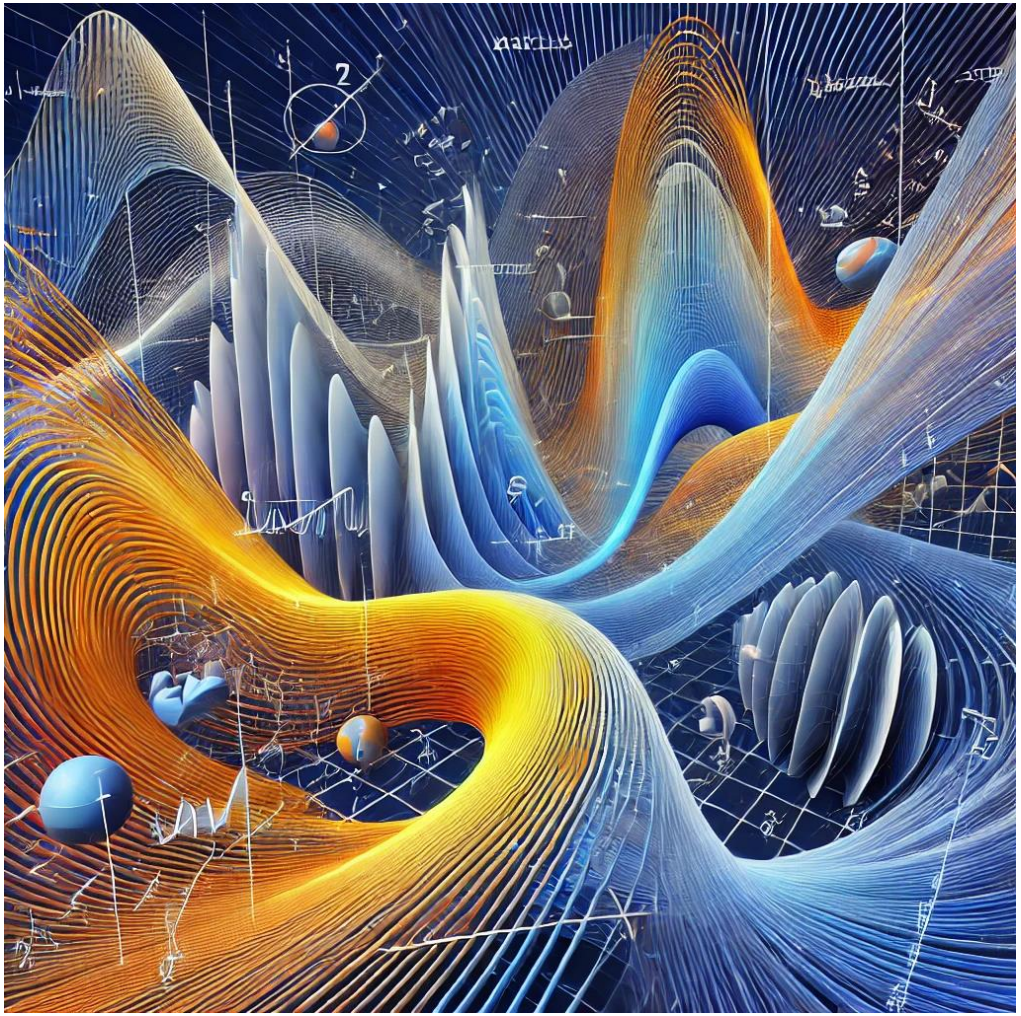
```
>> sum(A,"all")
ans = 21
```

Cercare elementi in una matrice

- `find` trova gli elementi di una matrice che soddisfano una condizione

```
>> A = [1, 2; 2, 3];
>> [i,j] = find(A==2);
>> i
i = 2
     1
>> j
j = 1
     2
```

Intervallo



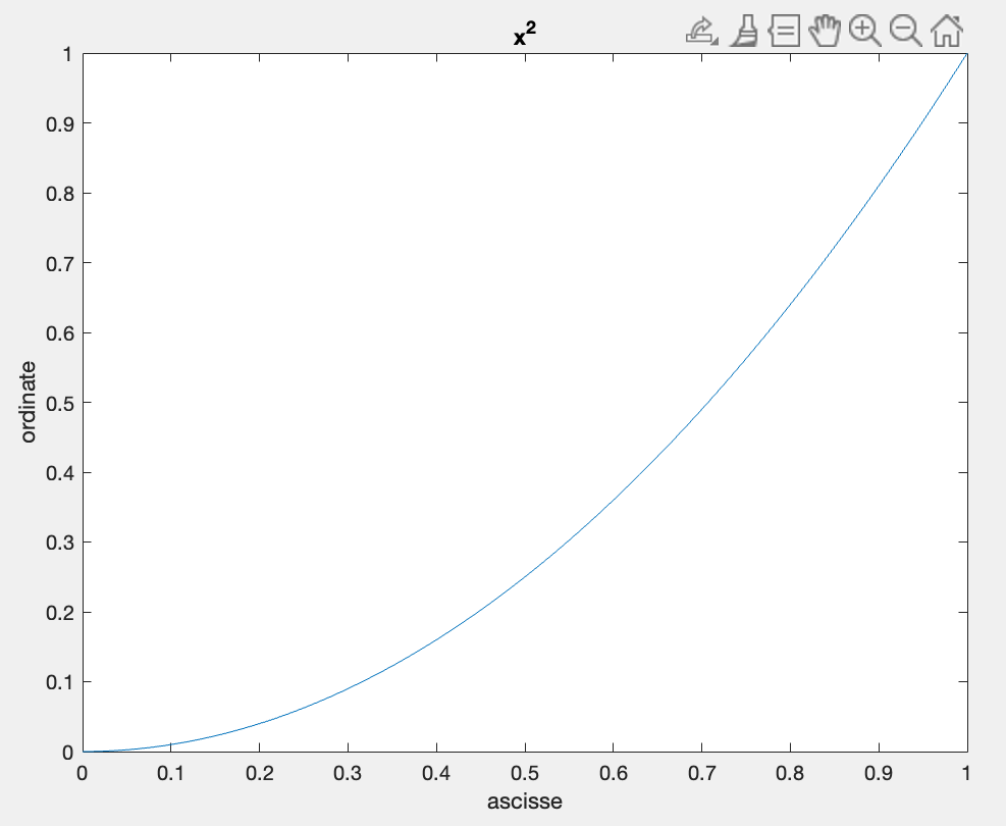
Fonte: chatGPT

Strutture controllo e funzioni

Plot di funzioni

- Come visualizzare una funzione `f(x)` tra `a` e `b`
- Esempio con funzione `f(x) = x^2`

```
x = [a:0.01:b]
y = x.^2
figure
plot(x,y)
title ('x^2')
xlabel('ascisse')
ylabel('ordinate')
```



Tipo di dati logico

- E' un tipo di dato con soli due valori
  - True 1
  - False 0
- I valori di questo tipo possono essere generati
  - Direttamente da due funzioni speciali (`true` e `false`)
  - Dagli operatori relazionali
  - Dagli operatori logici

Operatori Relazionali

- Operano su tipi numerici
- Possono confrontare
  - Due scalari
  - Due vettori della stessa dimensione
- Forma generale a OP b
- Possibili operazioni OP: ==, ~=, >, >=, <, <=

```
3 < 4       true(1)

3==4        false(0)

3~=4        true(1)
```

Note

- Come in C non confondere == e =
  - == è un operatore di confronto
  - = è un operatore di assegnamento
- La precisione finita può produrre errori

```
sin(0)==0        true(1)
sin(pi)==0       false(0)
```

- Per i numeri piccoli usate una soglia

```
abs( sin(pi) - 0)<= eps
```

Operatori logici

- Operatori binari
  - `AND (&&, &,` o `and)`
  - `OR (||, |,` o `or)`
  - `XOR (xor)`
- `A OP b` per la notazione simbolica
- `OP(a,b)` per la notazione testuale
- Operatori unari
  - `NOT (~)`
- `OP a`
- Valori numerici di `a,b` vengono interpretati come logici
  - 0 come falso
  - Tutti i numeri diversi da 0 come vero

&& vs & e || vs |

- && (||) funziona con gli scalari
  - Valuta prima l'operando di sinistra
  - Se è sufficiente a decidere il valore dell'espressione si ferma

```
a/b >10
```

- Non voglio eseguire la divisione se b è 0
- `B~=0 && (a/b >10)`
- & (|) funziona con scalari e vettori
- Valuta sempre tutti gli operandi

Esempi

- Hai tra 25 e 30 anni?

```
(eta >= 25) & (eta <= 25)
```

- Con i vettori

```
>> Voto = [12, 15, 8, 29, 23, 24, 27];
>> C = (Voto > 22) & (Voto < 25)
C = [0 0 0 0 1 1 0]
>> D = (mod(Voto, 2)==0 | (Voto > 18)
D = [1 0 1 1 1 1 1]
```

- Contare quanti elementi soddisfano la condizione

```
>> nVoti = sum((Voto > 22) & (Voto < 25))
```

Costrutto if

- Permette di esegure istruzioni a seconda del valore di un'espressione booleana
- Utilizza `if, else, elseif, end`

```
if (expression1)
      statement1
elseif (expression2)
      statement2
else
       statement3
End
```

- I rami `elseif` e `else` non sono obbligatori!

Ciclo while

```
While expr
    istruzioni da ripetere finchè expr è vera
end
```

- Il valore di `expr` deve cambiare nelle ripetizioni per garantire la terminazione

Ciclo while

- Calcoliamo gli interessi composti fino al raddoppio del capitale, con un interesse annuo del 8%

```
value = 1000;
year = 0;
while value < 200
     value = value * 1.08
     year = year +1
end
```

Ciclo for

```
for variabile = array
   istruzioni
end
```

- Tipicamente `array` è un vettore, quindi `variabile` assume valori scalari
  - Alla prima iterazione `variabile=array(1)`
  - Alla seconda iterazione `variabile=array(2)`
  - ...

Ciclo for

```
vector = [1,2,3]
```

- Per sommare tutti gli elementi del vettore (funzione `sum`)

```
somma=0;
for n = vector
    somma = somma + n;
end
```

Funzioni

- Come in C è possibile definire funzioni

```
function f = fattoriale (n)
      f = 1
      for ii= 1:n
            f  = f * ii
      end
```

- La testata (*header*) inizia con la parola chiave function e definisce
  - Nome della funzione
  - Argomenti (input)
  - Valore restituito (output)
- Il corpo (body) include le istruzioni da eseguire quando la funzione viene chiamata
  - Utilizza gli argomenti e assegna il valore restituito

Funzioni

- Una funzione può essere invocata in un programma attraverso il suo nome, seguito dagli argomenti fra parentesi tonde
  - può avere più argomenti separati da virgola

```
f(x, y)
```

- Quando è necessario restituire più valori, possiamo usare la notazione degli array

```
function [v1, v2,v3] = f(x, y)
```

- Esempio

```
function [s, p] = sumProd(a, b)
      s = a + b;
      p = a * b;
```

File Funzione

- Le funzioni sono scritte in file di testo sorgenti
  - Devono avere estensione .m
  - Devono avere lo stesso nome della funzione
  - La prima riga del file deve contenere l'header della funzione