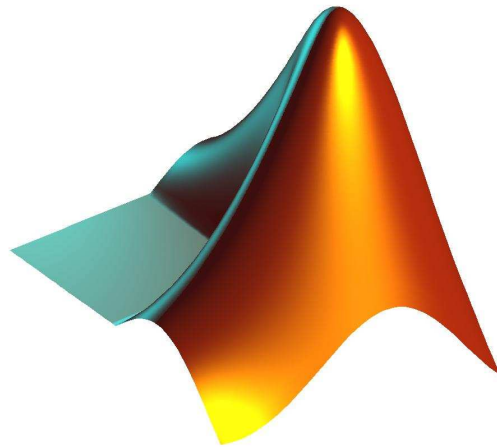


# L'ambiente Matlab

## per le applicazioni industriali

(Parte 1 – Panoramica)



# Schema del corso

Ogni modulo è strutturato in modo indipendente e copre aspetti progressivamente più avanzati

Moduli:

1. Introduzione a Matlab come linguaggio
2. Grafica 2D e 3D
3. Applicazioni di calcolo con Matlab
4. Panoramica dei toolbox e loro impiego
5. Costruzione di una GUI in Matlab
6. Uso dei MEX files e del compilatore Matlab
7. Introduzione a Simulink
8. Risorse Matlab di pubblico dominio

# Un pò di storia

- Acronimo di **Matrix Laboratory**
- Creato alla fine degli anni '70 alla New Mexico University da Chris Molen (ed altri)
- Lo scopo iniziale era fornire un ausilio ai corsi di algebra lineare e di calcolo numerico per studenti senza conoscenze di programmazione
- Integra gradatamente librerie già disponibili (es. Linpack)
- Nel 1984 inizia la commercializzazione da parte di Mathworks
- Evolve successivamente come suite completa di supporto alla ricerca scientifica ed allo sviluppo di applicazioni ad elevato contenuto scientifico

# Un pò di storia

- **Oggi ha diffusione universale ed è maggiormente orientato alle applicazioni industriali mediante la realizzazione di parecchi toolbox specifici**
- **Esistono diverse soluzioni di acquisto parziale (a nessuno serve tutto...) che consentono di accedere alle sole parti utili**
- **Le prossima versione (in beta testing) sarà definitivamente object-oriented**
- **L'impiego didattico rimane attuale ma molto spesso è limitato al solo prodotto base (il motore di calcolo) usato in modalità interpretata**

# Le versioni successive

Anno	Nome	Versione
1986	-	2
1987	-	3
1992	R7	4
1996	R8	5
2000	R12	6
2004	R14	7

# Perché Matlab?

## Acquisizione dati

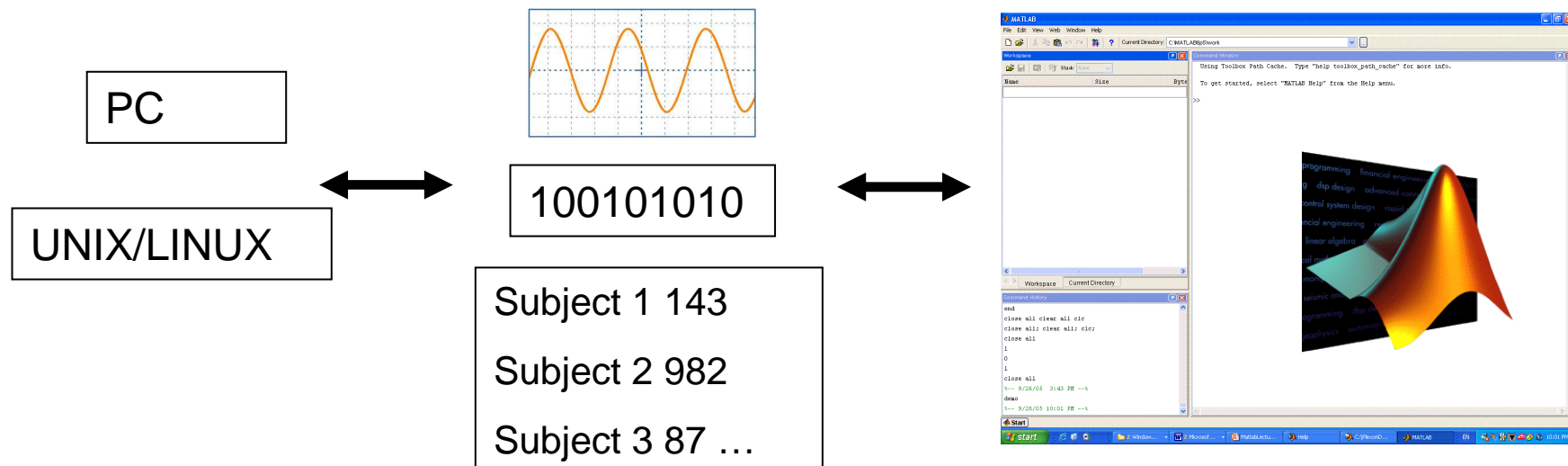
- MATLAB fornisce primitive per acquisire ed analizzare dati da qualsiasi sorgente digitale



# Perché Matlab?

## Importazione dati

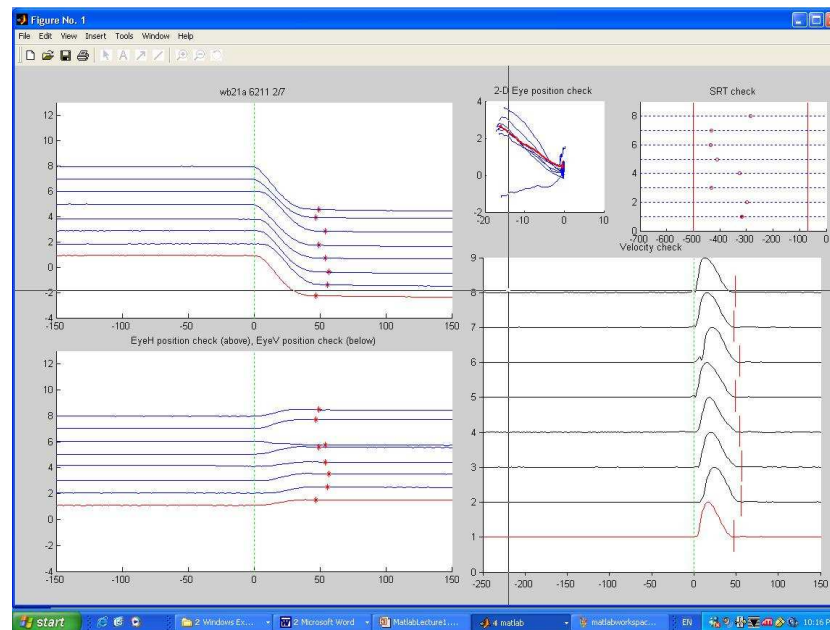
- Si possono importare in MATLAB dati in qualunque formato e da qualunque piattaforma



# Perché Matlab?

## Strumenti di analisi

- Esistono librerie per compiere qualunque tipo di analisi sui dati
- E' possibile costruire qualunque tipo di rappresentazione grafica

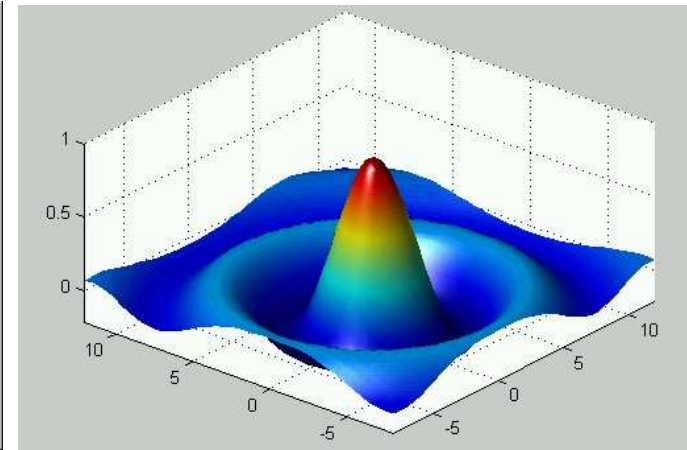
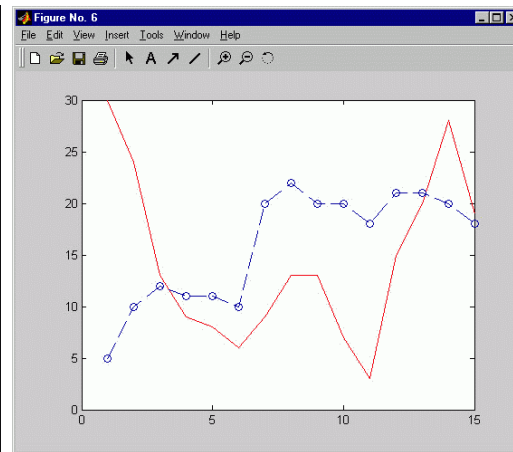
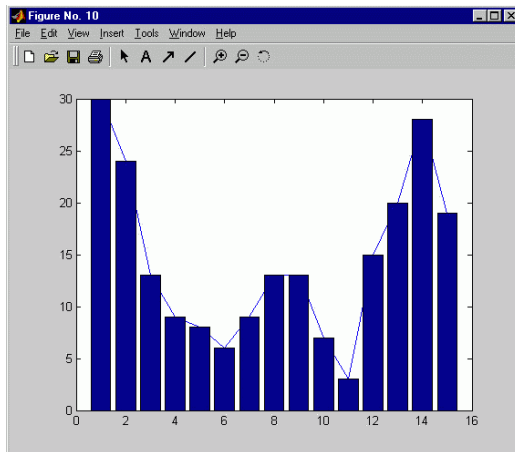




# Perchè Matlab?

## Grafica N-dimensionale

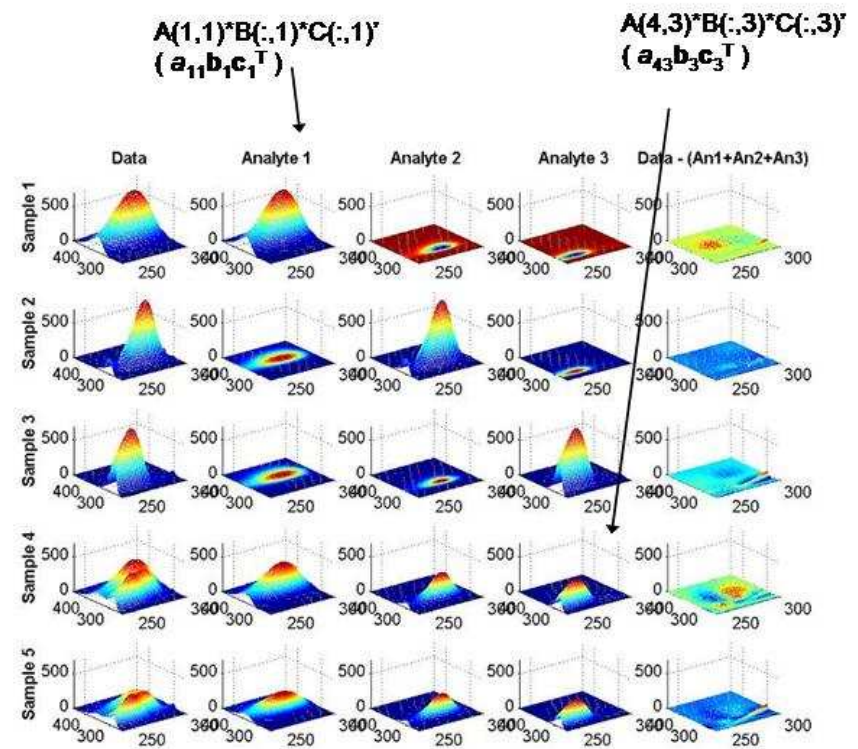
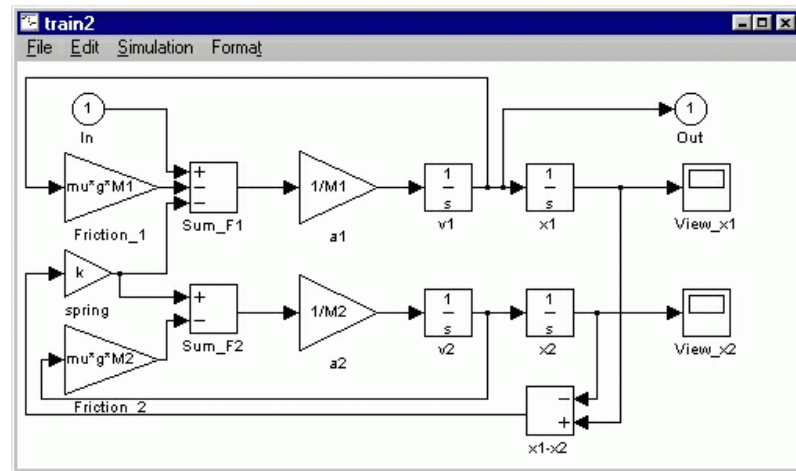
- Sono disponibili tutte le opzioni di grafica da 2 a 4 dimensioni
- Possibile controllo totale della formattazione e di qualunque elemento visivo



# Perchè Matlab?

## Modellazione dinamica

- E' possibile costruire modelli dell'interazione di sistemi dinamici complessi e verificarli su dati sperimentali



# Perchè Matlab?

- **Disponibilità di sw**

- **Matlab contiene un numero enorme di funzioni pronte per l'uso, organizzate in toolbox tematici e perfettamente commentate**
- **Il sito di Mathworks è ricchissimo di esempi ed applicazioni pronte per l'uso**
- **Sono disponibili in rete risorse di pubblico dominio che estendono ulteriormente questo insieme a specifici problemi applicativi**
- **Le probabilità di trovarsi il lavoro già fatto sono parecchio elevate...**

# Alcuni fatti ...

- **Matlab serve solo ai matematici**
  - FALSO! anzi, è vero il contrario. Serve poco (o nulla) ai matematici, è invece pensato e sviluppato per la progettazione di sistemi, quindi per l'ingegneria
- **Matlab è lento**
  - FALSO! è lento solo se usato in modalità interpretata. Il compilatore genera eseguibili di discreta efficienza, specie se si usano bene le funzioni già ottimizzate.
- **Matlab costa troppo**
  - FALSO! Sì, il costo iniziale è oggi il vero limite alla diffusione di Matlab nell'industria. Solo le grandi aziende usano Matlab originale, le altre...si arrangiano. Ma rispetto ai costi umani di sviluppo sw, Matlab costa poco.

# Alcune critiche ...

- **Non esistono versioni con le sole libreria di funzioni compilate (forse con .NET...)**
- **L'uso di (...) per compiti diversi è criticabile**
- **I nomi di funzione (parecchi...) sono tutti globali, con possibili conflitti risolti solo in base all'ordine**
- **Il comportamento variabile delle funzioni spesso confonde i programmatori (es. sum)**
- **Gli array che partono da 1 sono fonte infinita di errori quando si interfaccia Matlab con altri linguaggi**
- **Le diverse versioni di Matlab creano problemi di porting**
- **...**

# Uso di Matlab

## Valutare espressioni utilizzando variabili

- Le espressioni immesse sono interpretate e valutate immediatamente dal sistema
- Le variabili sono identificativi usati per memorizzare valori
- Le variabili calcolate possono essere richiamate in seguito
- Le variabili non vanno dichiarate (dichiarazione = assegnazione)

***Variabile = Espressione***

***Oppure***

***Espressione***

***N.B. i nomi delle variabili sono case-sensitive***

# Uso di Matlab

## Lavorare con le matrici

- Matlab opera normalmente con un unico oggetto di base, una matrice rettangolare di numeri (array) indicizzata con (...,...)
- Una matrice è una struttura indicizzata da 2 valori: riga e colonna
- Il numero di righe o colonne è arbitrario
- Gli indici partono sempre da 1

Uno **scalare** è un singolo numero rappresentato da matlab come una matrice 1x1.

Un **vettore** è un array mono-dimensionale di numeri rappresentato come matrice  $n \times 1$  (vettore colonna) o  $1 \times n$  (vettore riga)

Si usano “,” e “;” per separare gli elementi nella assegnazione

# Operazioni con matrici

Una matrice vuota può essere creata con `[]`

L'operatore `[]` può essere usato per cancellare righe o colonne

Le funzioni `size` e `ndims` ritornano il numero di elementi e di dimensioni di una variabile matriciale

La struttura 2D è generalizzabile ad un numero arbitrario di dimensioni (matrici N-dimensionali)

L'operatore `:` consente di estrarre sottomatrici mediante la definizione di intervalli di righe o colonne



# Operazioni con matrici

**Tutte le normali operazioni di calcolo sono utilizzabili sulle matrici combinate con scalari**

- + Addizione**
- Sottrazione**
- \* Moltiplicazione**
- / Divisione**
- ^ Elevamento a potenza**

**Le operazioni con scalari sono sempre intese come applicate ai singoli elementi della matrice**

# Operazioni con matrici

Le operazioni tra matrici assumono particolari proprietà

## Addizione e Sottrazione

Le dimensioni delle matrici devono essere uguali

## Moltiplicazione

Ci sono due possibili implementazioni

*prodotto algebrico (righe x colonne) – operatore \**

*prodotto elemento x elemento – operatore .\**

I vincoli sono diversi nei due casi

# Operazioni con matrici

## Divisione di matrici

**Ci sono due possibili implementazioni:**

*divisione matriciale a sinistra o a destra – operatori / e \  
divisione elemento per elemento – operatore ./*

**Divisione a sinistra (\) :**

$X = A \setminus B$  è la soluzione di  $A * X = B$

**Divisione a destra (/) :**

$X = A / B$  è la soluzione di  $X * A = B$

## Potenza di una matrice

**Ci sono due possibili implementazioni:**

*Serie di prodotti*

*Potenza elemento per elemento*

# Operazioni con matrici

## Operazioni specifiche per matrici

La trasposta si forma scambiando tra loro le righe con le colonne –operatore ‘

<b>inv</b>	inversa di una matrice
<b>det</b>	determinante di una matrice
<b>trace</b>	traccia di una matrice
<b>rank</b>	rango di una matrice
<b>zeros</b>	matrice nulla
<b>ones</b>	matrice unaria
<b>diag</b>	matrice diagonale
<b>eye</b>	matrice identità

Esistono numerosissime altre operazioni specifiche per le matrici

# Operazioni con matrici

- **min / max**
  - minimo / massimo lungo righe / colonne
- **sum / mean**
  - somma / media lungo righe / colonne
- **norm**
  - norma di una matrice
- **sort**
  - ordina le righe / colonne
- **reshape**
  - Altera la forma di una matrice ridistribuendo i valori

# Operatori relazionali

Utilizzati per comparare matrici di uguale dimensione (o scalari)

<b>&lt;</b>	<b>minore</b>
<b>&lt;=</b>	<b>minore o uguale</b>
<b>&gt;</b>	<b>maggiore</b>
<b>&gt;=</b>	<b>maggiore o uguale</b>
<b>==</b>	<b>uguale</b>
<b>~=</b>	<b>non uguale</b>

La comparazione, a risultato TRUE o FALSE, avviene sempre tra elementi corrispondenti

# Operatori relazionali

## La funzione Find

La funzione *find* serve per trovare le posizioni di tutti gli elementi di una matrice che soddisfano una determinata condizione

```
>> find(A > 0)
```

Le posizioni trovate possono essere usate per indicizzare matrici

```
>> A(find(A>0)) = 1
```

La funzione ritorna anche le posizioni come vettori o come matrice

```
[x,y] = find(A > 0)
```

```
B = find(A > 0)
```

# Gli scripts di Matlab

**Raggruppano una serie di comandi senza eseguirli (modalità differita)**

- **Matlab può eseguire sequenze di comandi contenuti in un file**
- **I file che contengono comandi Matlab devono avere estensione '\*.m'**
- **Gli M-files si possono scrivere e salvare con l'apposito editor**
- **Gli M-files sono eseguibili al command prompt come un comando**
- **Gli M-files possono chiamare altri M-files**

**N.B. Per essere eseguibile, un M-file deve avere il suo path settato nella configurazione di Matlab**



# Gli scripts di Matlab

## Vantaggi degli M-files

- Sviluppo facilitato dall'editor
- Possibili modifiche a valle dell'esecuzione
- Leggibilità/Portabilità – si possono aggiungere commenti tramite il simbolo '%' per facilitare la comprensione
- Salvare M-files è più efficiente che salvare il workspace

# Operatori Logici

- **Gli operatori logici sono usati per comparare due valori booleani**
- **Un valore booleano è una rappresentazione logica di vero o falso**
- **Convenzionalmente 1 e 0 sono usati per rappresentare vero e falso**
- **In Matlab quando si fa una comparazione booleana, il valore *'false'* o 0 rappresenta falso e ogni intero positivo o *'true'* rappresenta vero**

# Operatori Logici

&

AND

|

OR

~

NOT

- L'operatore & (AND) ritorna TRUE solo se entrambi i valori A,B sono TRUE altrimenti ritorna FALSE
- L'operatore | (OR) ritorna TRUE se almeno uno dei valori A, B è TRUE, altrimenti ritorna FALSE
- L'operatore ~ (NOT) inverte la rappresentazione booleana

## Ordine di precedenza:

Nelle operazioni logiche multiple senza parentesi, l'operatore ~ (NOT) viene valutato per primo, seguito da & (AND) e da | (OR)

$A \& B | C = (A \& B) | C$

$A | B \& C = A | (B \& C)$

# Controllo di Flusso

- **Il controllo di flusso consente a Matlab di superare la semplice funzionalità di puro calcolo**
- **Con il controllo di flusso Matlab può essere usato come un linguaggio di programmazione ad alto livello orientato alla elaborazione di matrici**
- **Il controllo di flusso è implementato tramite statement condizionali e cicli**

# Statement condizionali

## If, Else, and Elseif

- Uno statement **if** valuta una espressione logica ed esegue un gruppo di comandi se questa è vera
- La list dei comandi condizionati termina con uno statement **end**
- Se l'espressione logica è falsa, tutti I comandi condizionati sono saltati
- L'esecuzione dello script riprende dopo lo statement **end**

```
if espressione_logica  
    comandi  
end
```

# Statement condizionali

## If, Else, and Elseif

- Lo statement **else** forza l'esecuzione dei comandi successivi se l'espressione logica originale è falsa
- Solo una delle due liste viene eseguita

```
if espressione_logica  
    comandi 1  
else  
    comandi 2  
end
```

# Statement condizionali

## If, Else, and Elseif

- Lo statement **elseif** nidifica una nuova struttura if dopo un else
- Sono una delle liste presenti viene eseguita

```
if espressione_logica_1  
  comandi 1  
elseif espressione_logica_2  
  comandi 2  
elseif espressione_logica_3  
  comandi 3  
end
```

# Statement condizionali

## Switch

- Lo statement **switch** agisce come una sequenza elseif
- Solo una lista di comandi viene eseguita

**switch** *espressione* (scalare o stringa)

**case** *valore 1*

*comandi 1*

**case** *valore 2*

*comandi 2*

**case** *valore n*

*comandi n*

**end**



# Cicli

## Ciclo For

Nel ciclo **for** la lista di comandi viene eseguita un numero fissato di volte.

```
for index = inizio:incremento:fine  
    comandi  
end
```

Se '*incremento*' non è definito, il default è 1

## Ciclo While

Nel ciclo **while** la lista di comandi viene eseguita finchè la condizione rimane vera

```
while espressione_logica  
    comandi  
end
```

# Modifiche al flusso

## Uscita anticipata da un ciclo

- Il comando *break* termina immediatamente un qualunque ciclo
- Quando Matlab incontra un break, l'esecuzione dello script continua dopo il ciclo

## Costrutti try / catch

- In modo del tutto analogo al C, Matlab supporta il meccanismo try/catch, passando al blocco catch se si verifica un errore dentro al blocco try
- Nel caso in cui il blocco try contiene funzioni e l'errore si verifica dentro queste, si forza anche l'uscita dalle funzioni

# Funzioni

- **Costituiscono dei blocchi elementari di programmazione**
- **Consentono al codice di essere generico e riutilizzabile**
- **Dato un insieme di inputs, eseguono una serie di comandi e ritornano un output**
- **In Matlab, ogni funzione è un M-file**
- **E' prassi nominare il file come la funzione, cioè il file *funcname.m* contiene la funzione definita da:**

***function*** *outargs* = *funcname(inargs)*

- ***return*** termina il calcolo e ritorna al chiamante (opzionale alla fine del file)

# Aggiungere un Help

- Inserire sempre alcune righe di commento tra la dichiarazione della funzione e la prima riga di codice
- Così si abilita automaticamente al funzione **help**
- Le righe di commento sono scandite da **lookfor** che trova tutte le occorrenza di un termine

```
function [y] = cube(x)
% Calcola il cubo di x
y = x*x*x;
```

```
>> help cube
Calcola il cubo di x
```

# Le variabili nargin/nargout

- **Matlab accetta dichiarazioni di funzioni con un numero variabile di argomenti di input / output**
- **nargin** viene usata per sapere quanti sono gli input
- **nargout** viene usata per sapere quanti sono gli output

```
function [y1, y2] = cube(x1, x2)
if nargin == 1
    y1 = x1*x1*x1;
    y2 = Nan;
elseif nargin == 2
    y1 = x1*x1*x1;
    y2 = x2*x2*x2;
end
```

```
>> [a b] = cube(2,3)
a = 8
b = 27
```

# Le liste `varargin` / `varargout`

- Le variabili `varargin` e `varargout` individuano gli elenchi delle variabili di ingresso / uscita di una funzione
- Tecnicamente sono `cell array`, cioè semplici strutture seriali di tipo eterogeneo
- Si indicizzano con `{...}` anziché `[...]` come gli array normali (omogenei)
- L'uso di `varargin/varargout` permette di costruire funzioni con argomenti opzionali

# Località nelle funzioni

- Tutte le variabili interne ad una funzione sono locali, e quindi non visibili all'esterno
- Si usa **global** per renderle globali (pericoloso) oppure **mlock** per ottenere la persistenza
- Si possono creare anche funzioni locali, usate solo da un'altra funzione nello stesso file (quella principale)

# La funzione eval

- La funzione **eval(stringa)** è una funzione molto speciale, perché valuta la stringa in input come comando Matlab
- Essa permette quindi di costruire testi che sono a loro volta programmi e di eseguirli
- Una funzione derivata da questa è **feval(func, X)** la quale valuta la funzione func (passata come stringa) nel punto X
- Essa permette di operare quindi su funzioni come argomenti testuali, ma esiste un modo più generale per farlo ...



# Puntatori a funzioni

- Per passare una funzione come parametro basta premettere il simbolo @

```
retval = funcname(@funcarg, ...)
```

- All'interno di funcname, funcarg non è direttamente valutabile, ma occorre **feval**
- Questo perché ciò che viene passato non è la funzione ma solo il suo puntatore

```
function R = sumfunvet(FUN, X)
R = 0;
for i=1:length(X)
    R = R + feval(FUN,X[i]);
end
```

```
>> R = sumfunvet(@sin, X);
>> disp(R);
```

# Importare dati da file

- Il comando **load** importa dati da un generico file ASCII in una variabile Matlab (matrice)

*Nome\_variabile = load('filename')*

- Ci sono restrizioni sulla struttura del file, per cui funziona solo su file strutturati in modo regolare (es. tabelle)
- Molto potente ma di uso limitato
- Esiste il comando simmetrico **save**

Spesso si ricorre ad una gestione manuale della importazione dei dati, che la rende una delle principali cause di errore nello sviluppo di codice Matlab

# Gestione dei files

- Sono supportate da Matlab quasi tutte le funzioni **f\*** definite nella libreria `<stdio>` del C per gestire le operazioni di I/O da file
  - **fopen**
  - **fclose**
  - **fseek / ftell / frewind**
  - **fscanf**
  - **fprintf**
  - **fgetc**
- Ogni file è identificato da un numero intero (`file_id`)
- Le funzioni **fscanf** e **fprintf** ammettono i tradizionali formati del C (`%d`, `%f`, `%c`, ...)

# Importazione semplificata

- Matlab supporta due tipi di importazione semplificata, eseguibili con un unico comando
  - File di testo **textread**
  - File Excel **xlsread**
- Matlab supporta anche l'importazione da tastiera tramite il comando **input**

```
>> nome_variabile = input('stringa di prompt');
```

# Files binari interi

- Le operazioni di I/O da file binari sono supportati da **fread** e **fwrite** previa definizione del formato
  - 'schar' Signed character; 8 bits
  - 'uchar' Unsigned character; 8 bits
  - 'int8' Integer; 8 bits
  - 'int16' Integer; 16 bits
  - 'int32' Integer; 32 bits
  - 'int64' Integer; 64 bits
  - 'uint8' Unsigned integer; 8 bits
  - 'uint16' Unsigned integer; 16 bits
  - 'uint32' Unsigned integer; 32 bits
  - 'uint64' Unsigned integer; 64 bits

# File binari floating point

- **I formati floating point supportati sono**
  - 'float32', 'single' Floating-point; 32 bits
  - 'float64', 'double' Floating-point; 64 bits
- **Per default Matlab memorizza tutti i dati numerici in double**
- **E' possibile specificare nella fopen diversi formati macchina per gestire codifiche particolari**
- **Per sapere quali valori sono rappresentabili con un certo formato si usano **realmin** e **realmax****

# La funzione fread

- **Sintassi possibili:**
  - `A = fread(fid)`
  - `A = fread(fid, count)`
  - `A = fread(fid, count, precision)`
  - `A = fread(fid, count, precision, machineformat)`
  - `[A, count] = fread(...)`
- **Argomenti in input:**
  - Fid (identificativo numerico del file)
  - Count (X: legge X elementi, Inf: legge fino a fine file, [m,n]: legge q.b. a riempire una matrice m x n)
  - Precision (specifica il formato dei dati in input)
  - MachineFormat (specifica la classe di formati binari utilizzata)

# Stringhe di caratteri

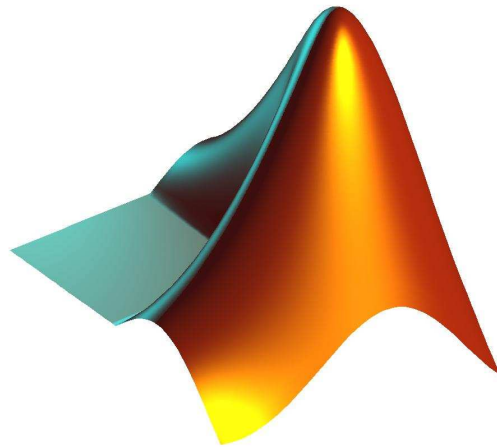
- Una stringa in Matlab è un insieme di caratteri racchiuso tra apici ' , rappresentato come vettore riga
- L'eventuale apice interno va scritto come doppio apice ''
- Sono supportate le funzionalità in stile C come **strcmp**, **findstr**, etc.. ma con parecchie varianti possibili
  - `pos = findstr('stringa di prova','a');`
  - nella variabile `pos` si ottiene il vettore [7 16]



# L'ambiente Matlab

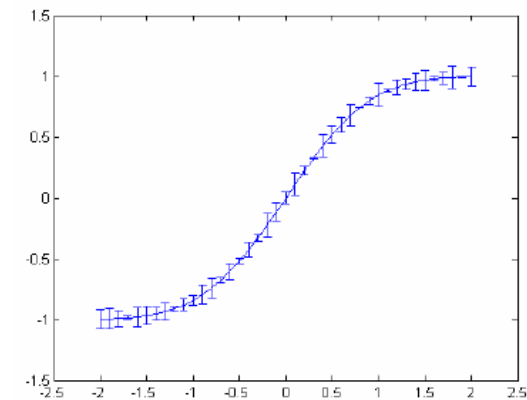
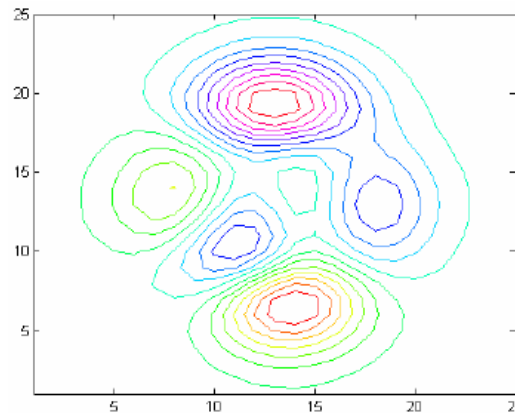
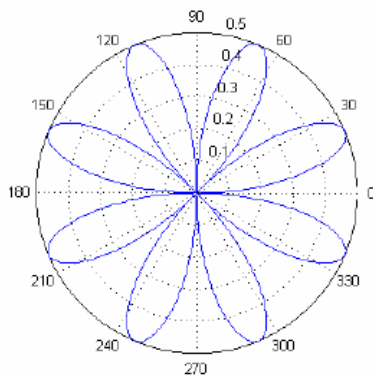
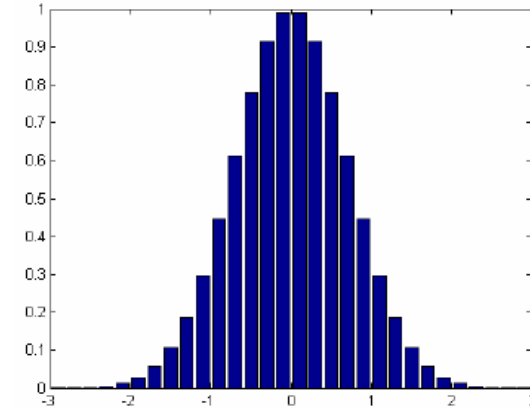
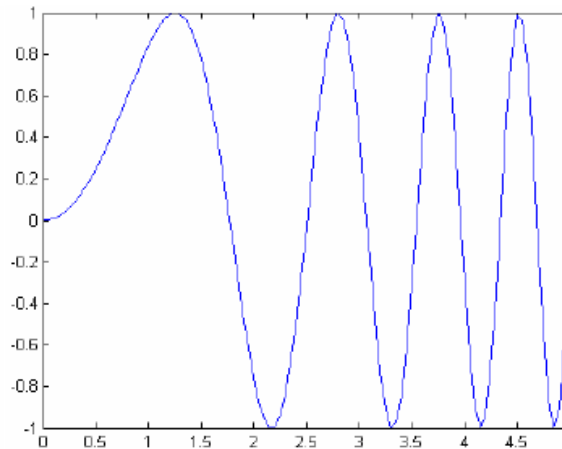
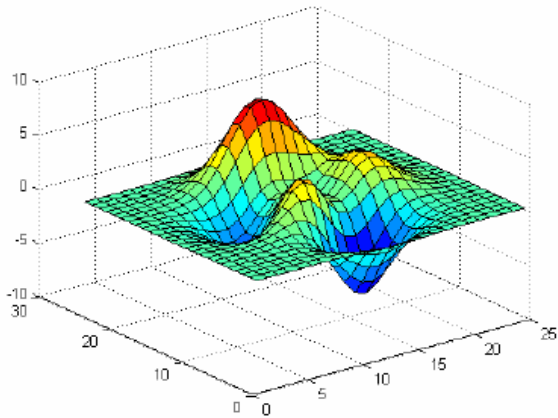
## per le applicazioni industriali

(Parte 2 – Grafica 2D e 3D)



# Cosa si può fare

- **Matlab ha un ottimo motore per la generazione di grafici, in grado di produrre qualunque tipo di rappresentazione dei dati**



# Generazione dei dati

- Il motore grafico di Matlab non usa le funzioni ma solo array di numeri. Date quindi le funzioni
  - $a=t^2$
  - $b=\sin(2\pi t)$
  - $c=\exp(-10t)$
  - $d=\cos(4\pi t)$
  - $e=2t^3-4t^2+t$
- queste vanno calcolate in uno specifico intervallo campionato
- L'intervallo di definisce di norma con la sintassi **inizio:passo:fine**, oppure con **linspace(inizio,fine,campioni)**

```
t=0:0.01:10; %assegna il vettore delle ascisse
```

```
y=t.^2; %calcola il vettore delle ordinate
```

```
% ma solo nell'intervallo specificato
```

# La funzione plot()

- La più semplice funzione di grafica è **plot()**
- Cosa succede scrivendo **plot(y)**?
  - Matlab genera automaticamente una figura, disegna i punti corrispondenti ai dati **y** e li connette con linee
  - L'asse **x** non è corretto (Matlab usa gli indici come default)
- **plot(x,y)** risulta simile ma ora l'asse **x** è corretto
- **plot(x1,y1,s1,x2,y2,s2, ...)** plottano più funzioni con un solo comando
- Se **x** è una matrice, **plot(x)** disegna le colonne come tracce separate

# La funzione plot()

- Se si plottano in sequenza a e b si vede solo b
- Matlab sostituisce ogni plot con il successivo, in assenza di altre istruzioni
- Per sovrapporre i due plot nella stessa figura bloccata si usa il comando **hold on** (**hold off** disabilita il blocco)
- Per avere i plot in figure diverse si usa il comando **figure**

plot(t,a)	% Disegna a e b in un plot	% Disegna due plot
plot(t,b)	plot(t,a);	plot(t,a);
	hold on;	figure;
	plot(t,b);	plot(t,b);

# Proprietà delle linee

- Senza specifiche, tutti i plot sono fatti nel colore di default ... **blu**
- Tutti gli attributi grafici sono modificabili selezionando le opzioni ammesse dal comando **plot**

## Line Style Specifiers

Specifier	Line Style
-	Solid line (default)
--	Dashed line
:	Dotted line
-.	Dash-dot line

% linea rossa

```
Plot(t,a,'r');
```

Hold on;

% linea nera

```
Plot(t,b,'k');
```

% linea a punti verdi

```
Plot(t,c,'g.');
```

% linea a croci cyan

```
Plot(t,d,'cx')
```

% linea tratteggiata %  
a cerchi magenta

```
Plot(t,e,'--om')
```

## Color Specifiers

Specifier	Color
r	Red
g	Green
b	Blue
c	Cyan
m	Magenta
y	Yellow
k	Black
w	White

## Marker Specifiers

Specifier	Marker Type
+	Plus sign
o	Circle
*	Asterisk
.	Point
x	Cross
'square' or s	Square
'diamond' or d	Diamond
^	Upward-pointing triangle
v	Downward-pointing triangle

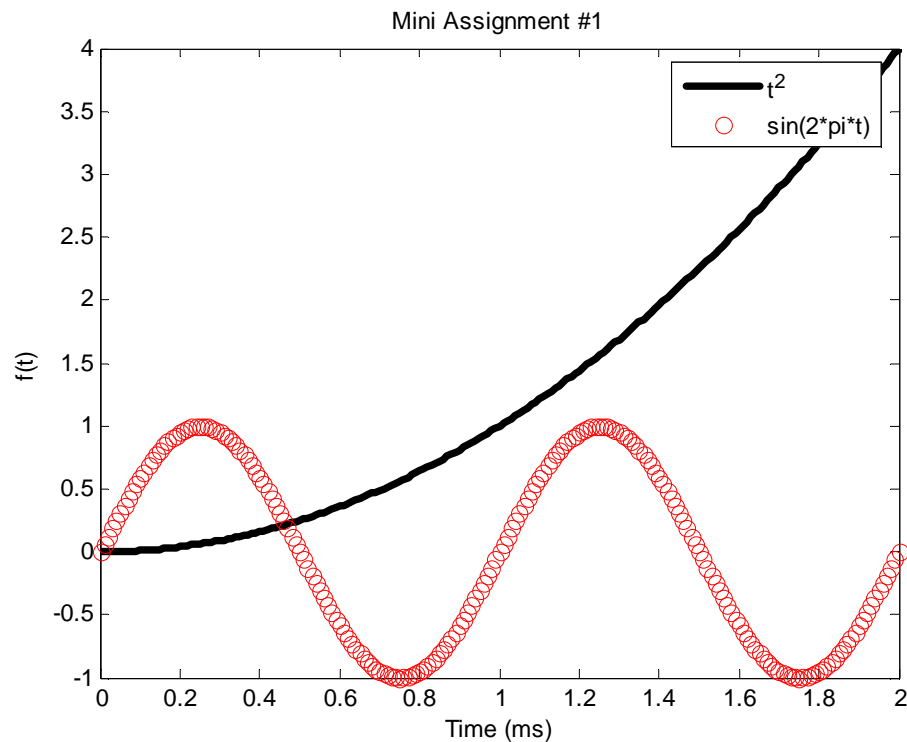
# Etichette, Titolo e Legenda

- Per aggiungere etichette agli assi x e y, si usano i comandi **xlabel** e **ylabel**
- Per aggiungere un titolo si usa il comando **title**
- Per aggiungere una legenda si usa il comando **legend**

```
plot(t,a,t,b,'r',t,c,'--om'); %genera tutti i plot in un colpo  
title('Random Plots')  
xlabel('t(ms)');  
ylabel('f(t)')  
legend('Funzione 1','Funzione 2','Funzione 3');
```

# Esempio

- Disegnare  $a$  come linea nera spessa
- Disegnare  $b$  come una serie di cerchi rossi
- Etichettare gli assi, aggiungere titolo e legenda



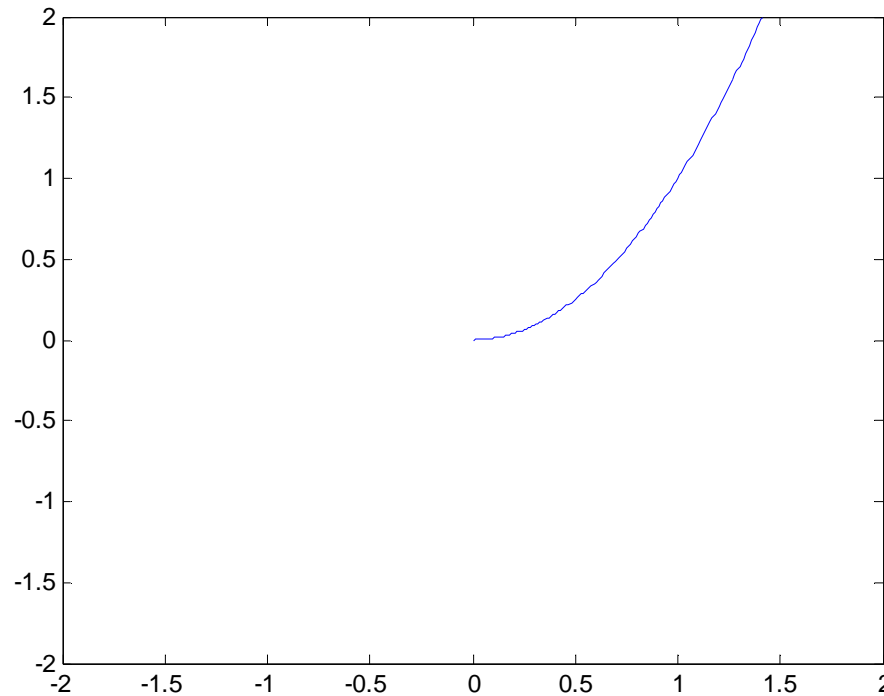
```
figure
plot(t,a,'k','LineWidth',3);
hold on;
plot(t,b,'ro')
xlabel('Time (ms)');
ylabel('f(t)');
legend('t^2','sin(2*pi*t)');
title('Mini Assignment #1')
```



# Il comando axis

- Il comando **axis** modifica l'intervallo visualizzato sul grafico ed aggiunge ulteriori controlli
  - Axis([xmin xmax ymin ymax])
  - Axis equal;
  - Axis square;

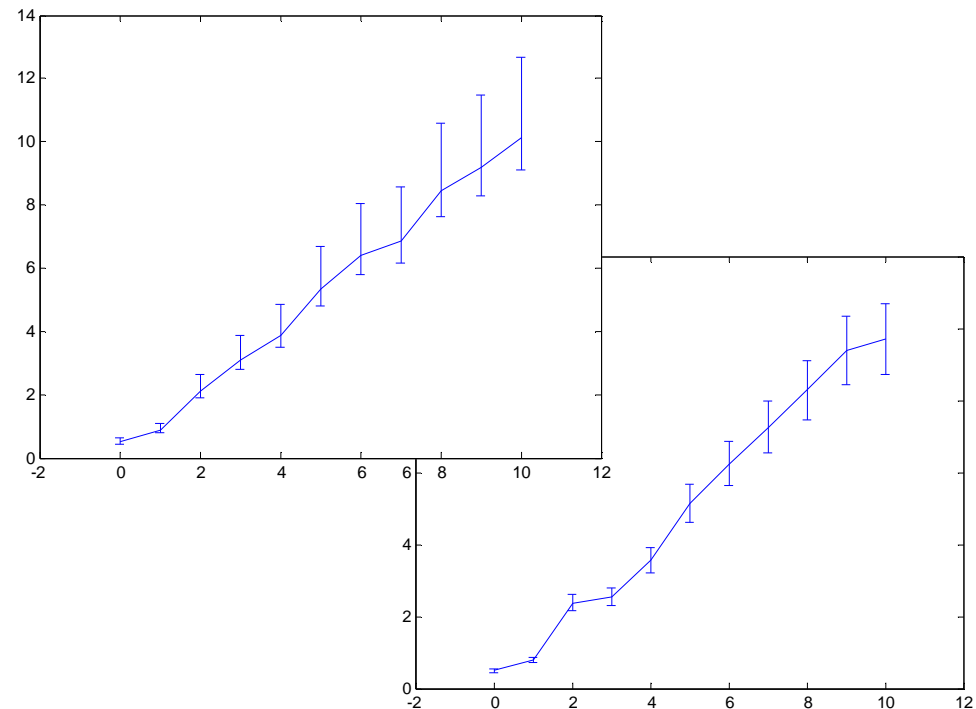
```
Figure;  
Plot(t,a,'r');  
Axis([-2 2 -2 2]);
```



# Le barre di errore

- Oltre ai punti, Matlab può facilmente disegnare anche gli intervalli di errore per ogni punto con il comando **errorbar**
  - `errorbar(x,y,e)` oppure `errorbar(x,y,elow,eup)`;
  - genera la curva e le barre di errore a  $y\pm e$  oppure  $(y-elow,y+eup)$

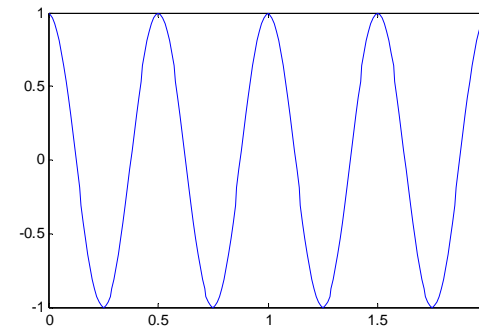
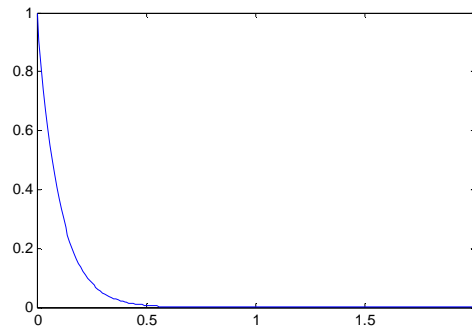
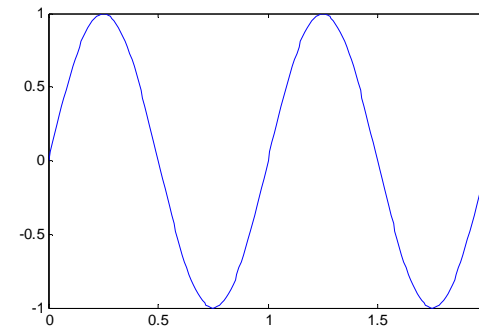
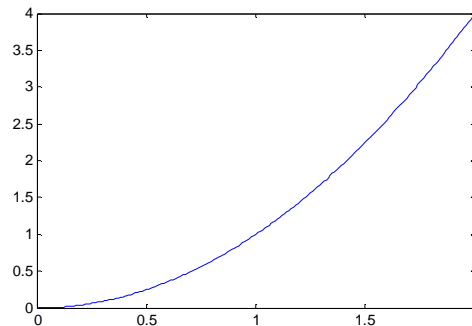
```
t2 = 0:1:10;  
f = t2+(rand(1,length(t2))-0.5);  
err1 = 0.1*f;  
err2_l = 0.1*f;  
err2_u = 0.25*f;  
errorbar(t2,f,err1);  
figure;  
errorbar(t2,f,err2_l, err2_u);
```



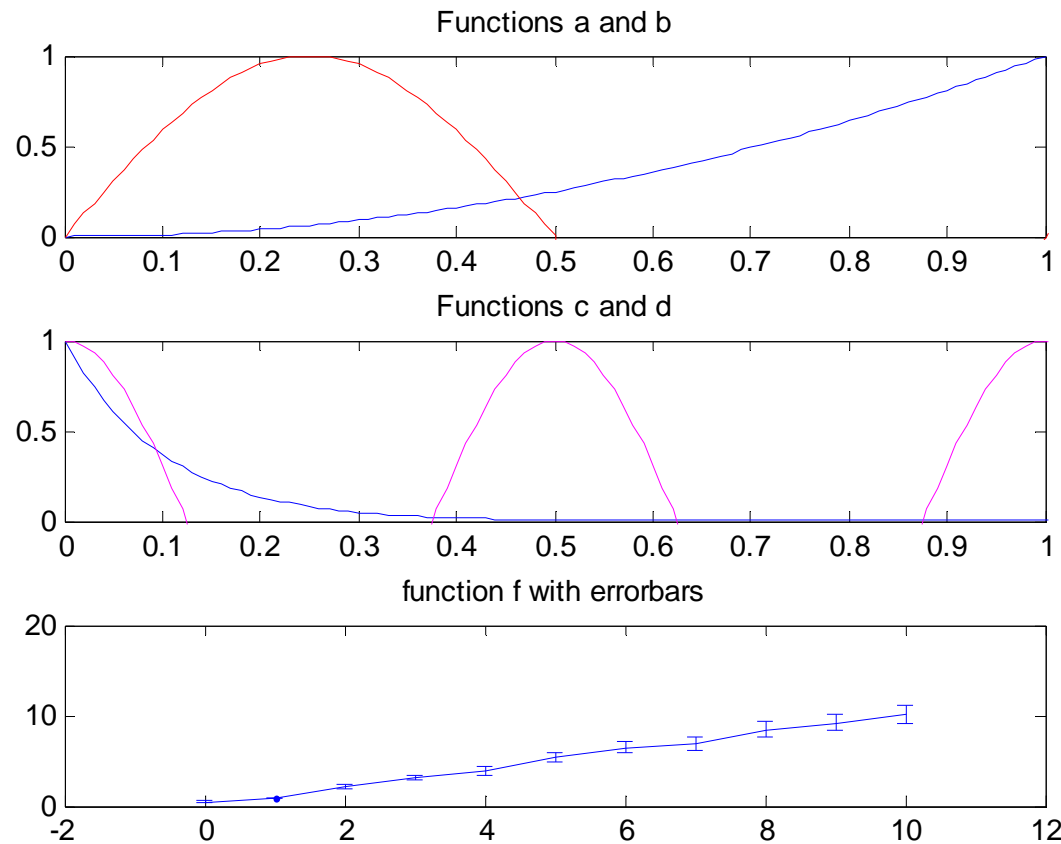
# La funzione subplot()

- Con **subplot** è possibile realizzare una struttura matriciale di grafici omogenei, che rende più agevole la comparazione
- Ogni subplot identifica un particolare grafico su cui agiscono le plot successive

```
figure;  
subplot(2,2,1)  
plot(t,a);  
subplot(2,2,2)  
plot(t,b);  
subplot(2,2,3)  
plot(t,c);  
subplot(2,2,4)  
plot(t,d);
```



# Esempio

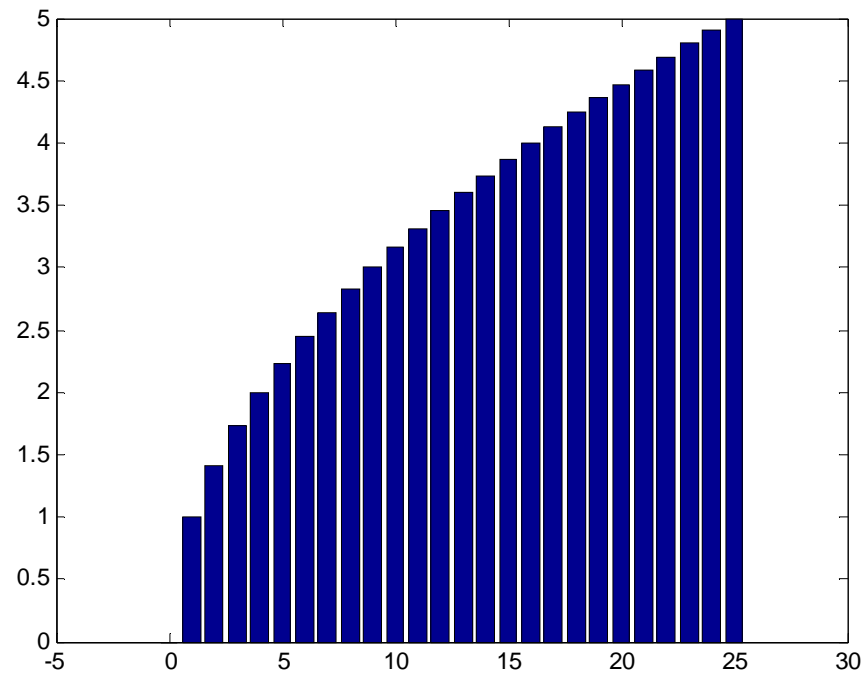


```
figure
subplot(3,1,1)
plot(t,a,t,b,'r');
axis([0 1 0 1]);
title('Functions a and b')
subplot(3,1,2)
plot(t,c,t,d,'m');
axis([0 1 0 1]);
title('Functions c and d')
subplot(3,1,3)
errorbar(t2,f,err1);
title('function f with errorbars')
```

# Grafici a barre

- Oltre ai grafici a linea, sono spesso utili rappresentazioni di dati tramite barre
- Il comando Matlab `bar(x,y,lar)` genera un grafico a barre dei dati `x,y` con larghezza specificata (default 1)
- Può essere usato insieme a tutte le altre opzioni viste finora

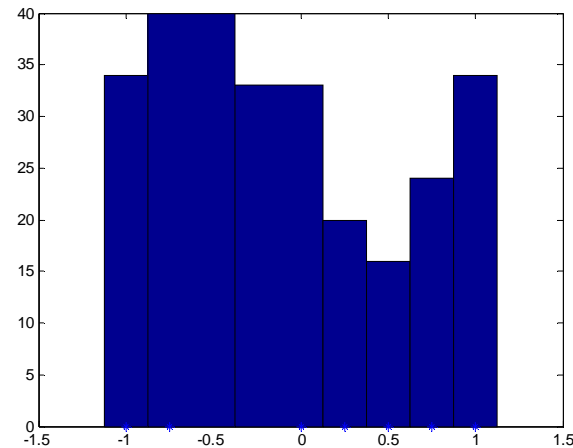
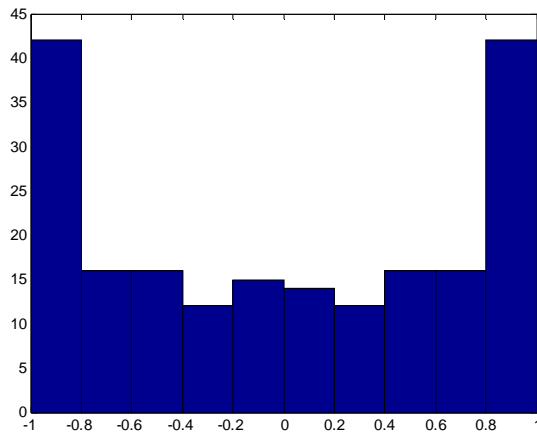
```
t = 0:1:25;  
f = sqrt(t);  
bar(t,f);
```



# Istogrammi

- La funzione Matlab **hist(y,m)** genera un istogramma del vettore di dati **y** distribuito su **m** accumulatori
- La variante **hist(y,x)** definisce anche i valori degli accumulatori **x**
  - La funzione **histc** permette di definire i bordi degli accumulatori anzichè i centri
- **Può essere usata con tutte le opzioni grafiche viste finora**

```
hist(b,10);  
Figure;  
hist(b,[-1 -0.75 0 0.25 0.5 0.75 1]);
```



# Esercizio

- **Generare un campione di dati composto da N=25 istanze di una sequenza in parte deterministica (funzione) ed in parte casuale**
- **Creare `mean_x` come media di tutti i valori assunti in ogni punto di x**
- **Creare `std_x` come deviazione standard di tutti i valori assunti in ogni punto di x**
- **Graficare le sequenze originali e la media con barra di errore pari alla deviazione standard**
- **Graficare anche l'istogramma dei valori finali del processo**

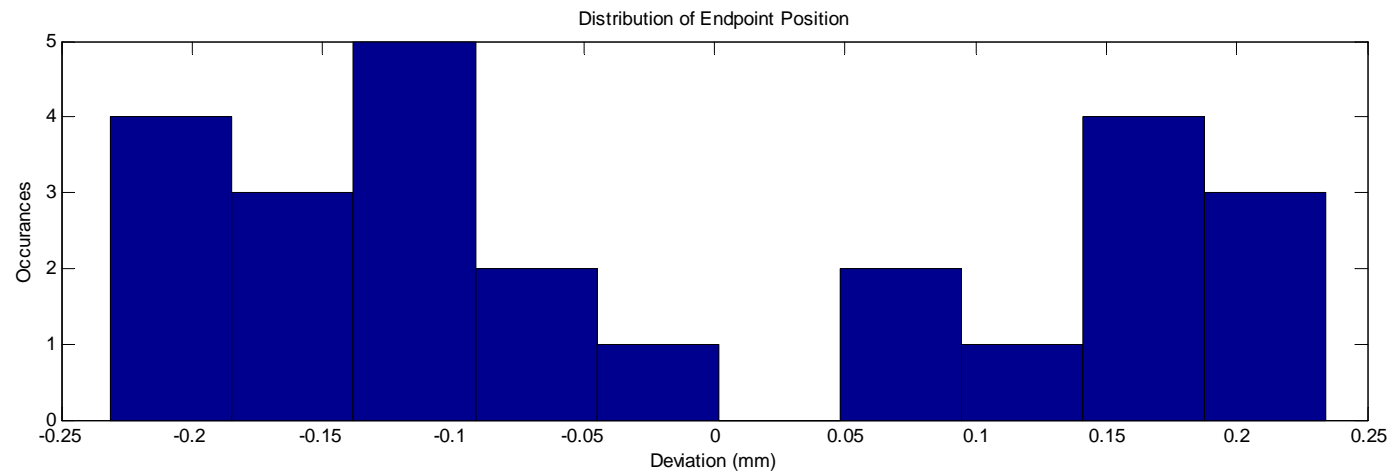
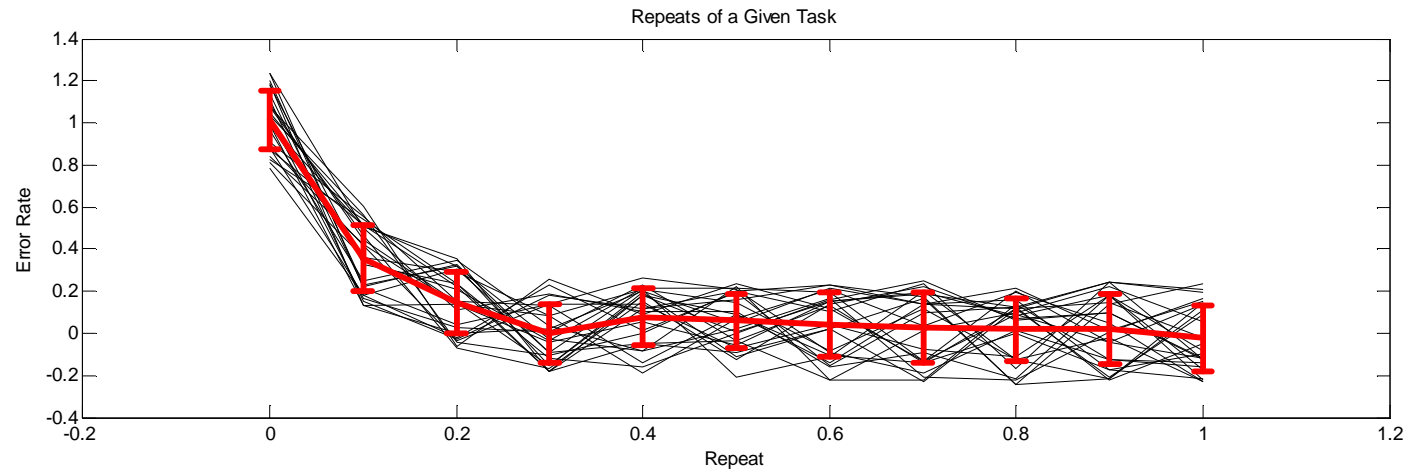
```
t = 0:0.1:1
for(i=1:25)
    x(i,:) = exp(-10.*t) + 0.5*(rand(1,length(t))-0.5);
end
```

# Svolgimento

```
t = 0:0.1:1
for(i=1:25)
    x(i,:) = exp(-10.*t) + 0.5*(rand(1,length(t))-0.5);
end
mean_x = mean(x);
std_x = std(x);
figure
subplot(2,1,1)
plot(t,x,'k'); hold on;
errorbar(t,mean_x,std_x,'--r','LineWidth', 3);
title('Repeats of a Given Task')
xlabel('Repeat');
ylabel('Error Rate');
subplot(2,1,2)
hist(x(:,11),10)
title('Distribution of Endpoint Position');
xlabel('Deviation (mm)')
ylabel('Occurances')
```

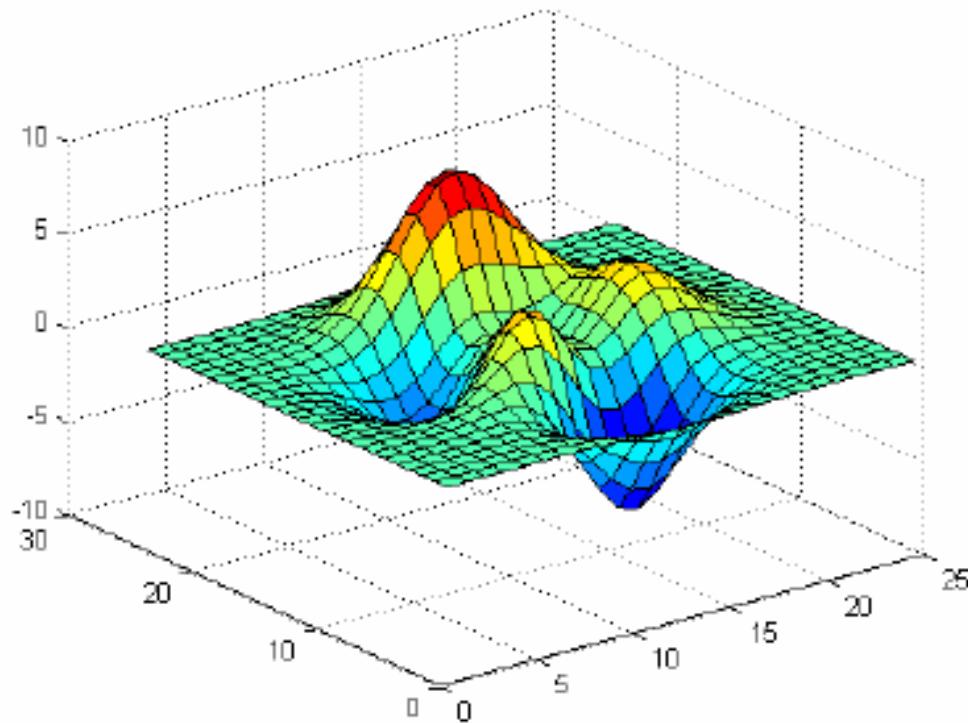


# Risultato



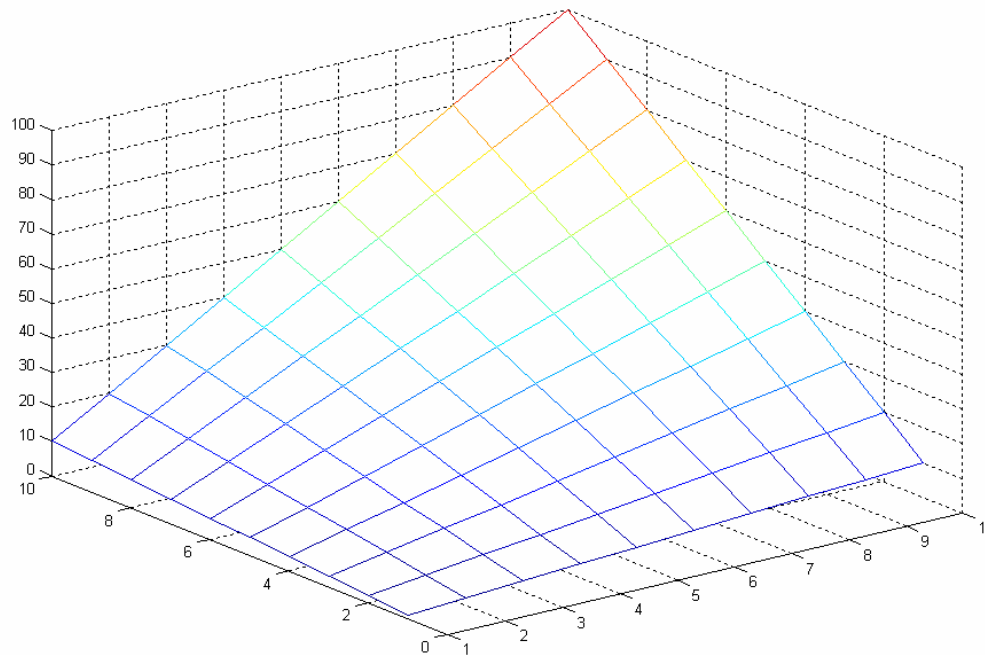
# Grafici 3D

- Matlab fornisce una vastissima scelta di opzioni per la grafica di dati in 3D
- Le funzioni di base utilizzate sono **mesh**, **surf**, **contour** pensate per visualizzare grafici del tipo  $Z=f(X,Y)$



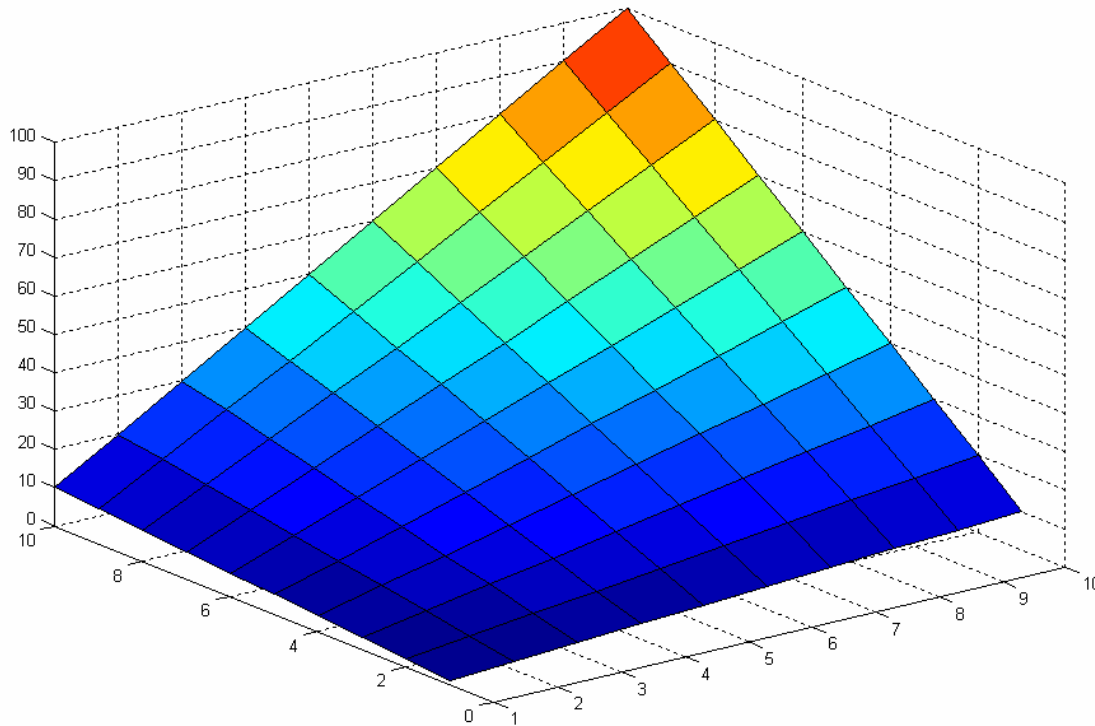
# La funzione mesh

- La funzione **mesh** connette una serie di punti discreti con una struttura reticolare (griglia o mesh)
  - $\text{mesh}(x,y,z)$  dove  $X(i)$  and  $Y(j)$  sono le posizioni dei nodi della griglia e  $Z(i,j)$  è il valore assunto in ogni nodo
  - $\text{mesh}(Z)$  assume che  $X$  e  $Y$  siano  $1..N$  e  $1..M$



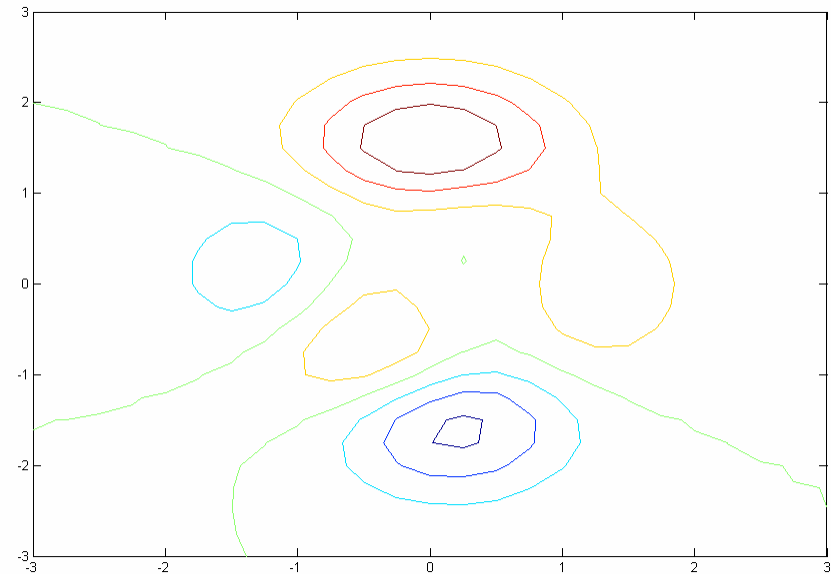
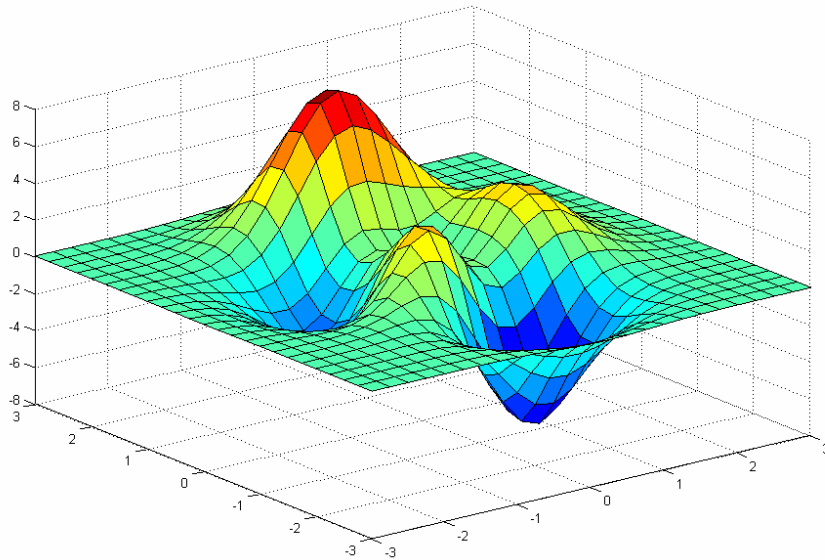
# La funzione surf

- E' concettualmente identica alla mesh, con l'unica differenza che la griglia è riempita con sfumature di colore



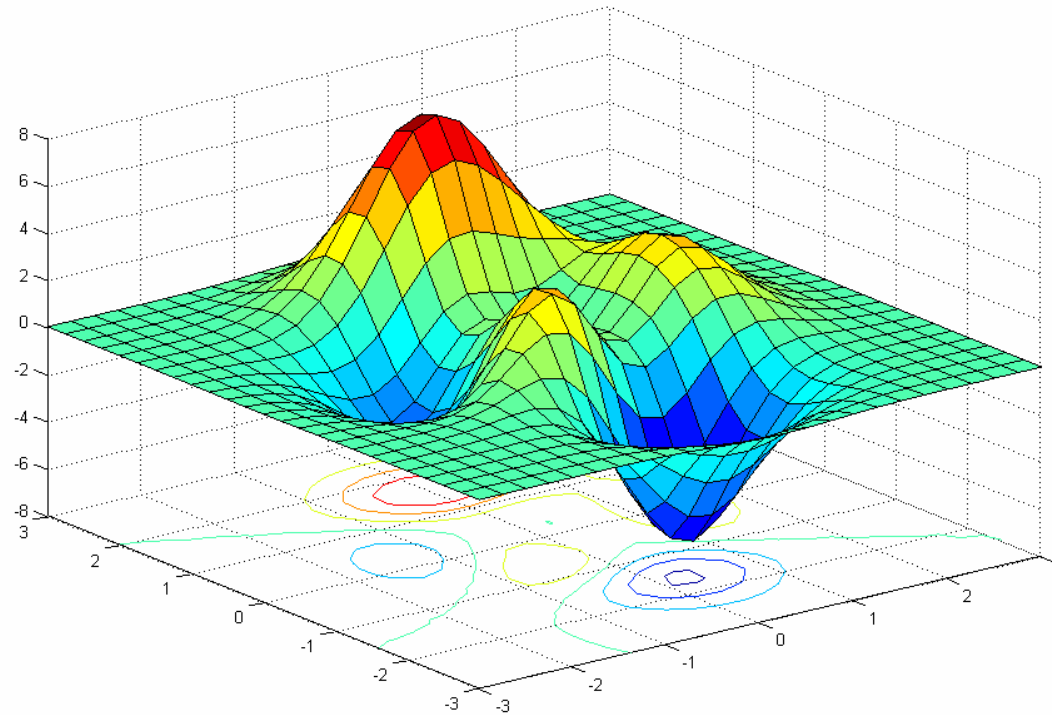
# La funzione contour

- Proietta i punti di uguale altezza in 3D (curve di livello) su un piano 2D sottostante
- Per il resto è analoga a surf o mesh – **contour(x,y,z)**



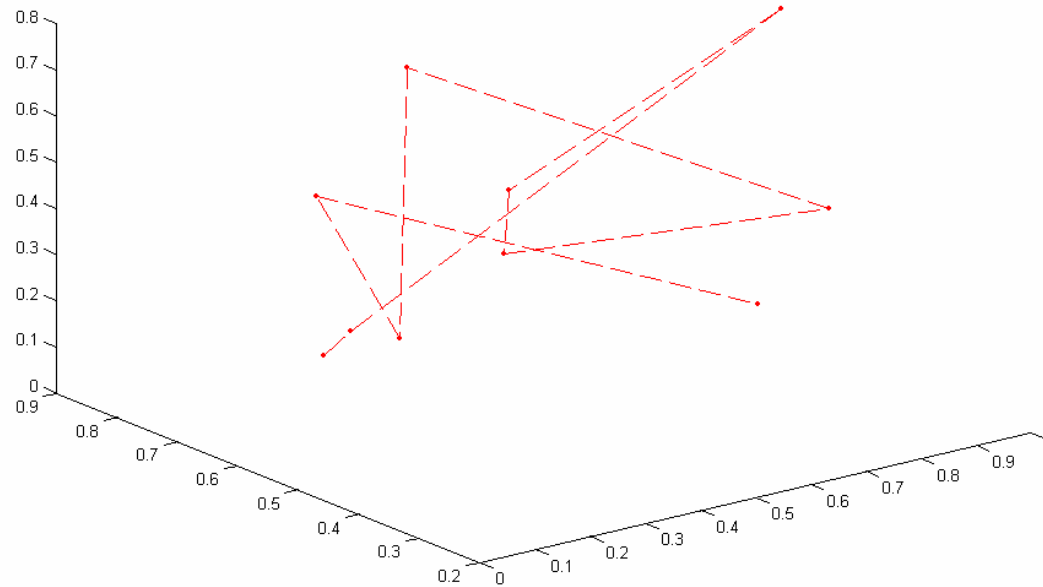
# La combinazione meshc,surfc

- Combina la visualizzazione della superficie o della griglia con il grafico delle curve di livello
- Per il resto è analoga a surf o mesh – **meshc(x,y,z)**



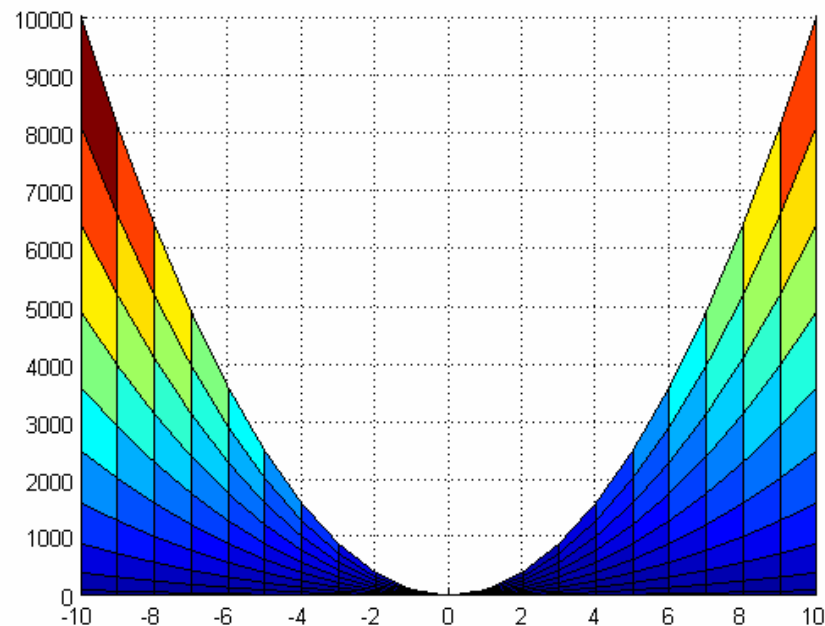
# La funzione plot3

- La funzione **plot3** Disegna linee e punti nello spazio 3D, in modo analogo alla **plot**, ma ora per terne di dati  $(x,y,z)$  generiche
- **Plot3(x,y,z)** assume che i 3 vettori abbiano la stessa lunghezza
- Ammette le stesse opzioni grafiche di **plot**.



# Gestione del punto di vista

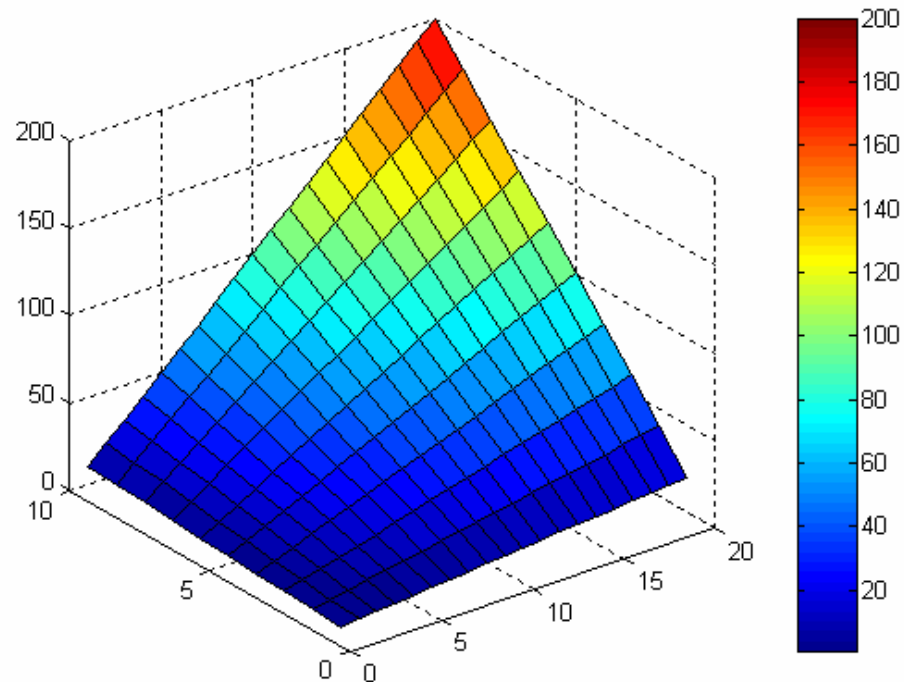
- E' possibile cambiare il punto da cui si osserva un grafico 3D con la funzione **view**
  - `view(az,el)`
  - `az` = Azimut (rotazione attorno all'asse `z`)
  - `el` = Elevazione (rotazione rispetto al piano `xy`)
- In modalità interattiva si usa **rotate3D**





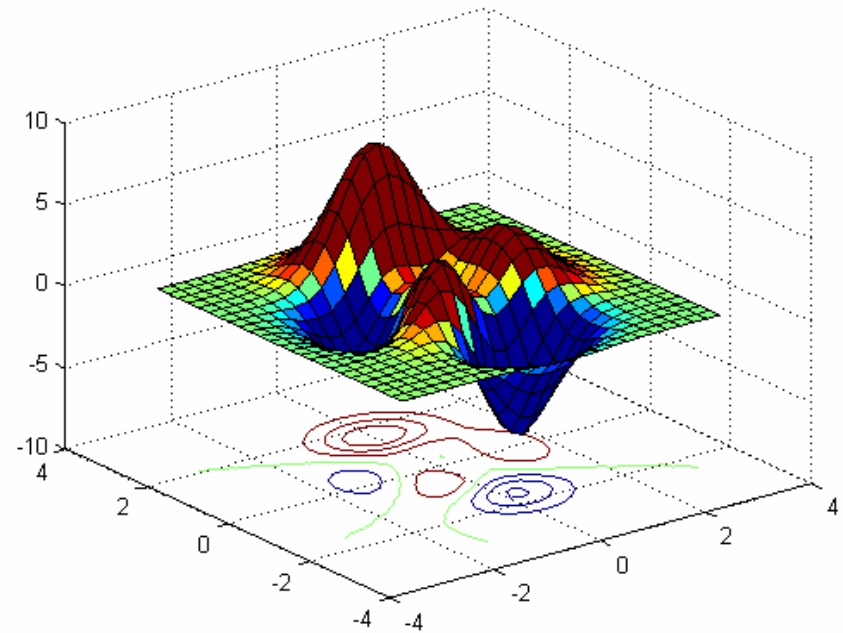
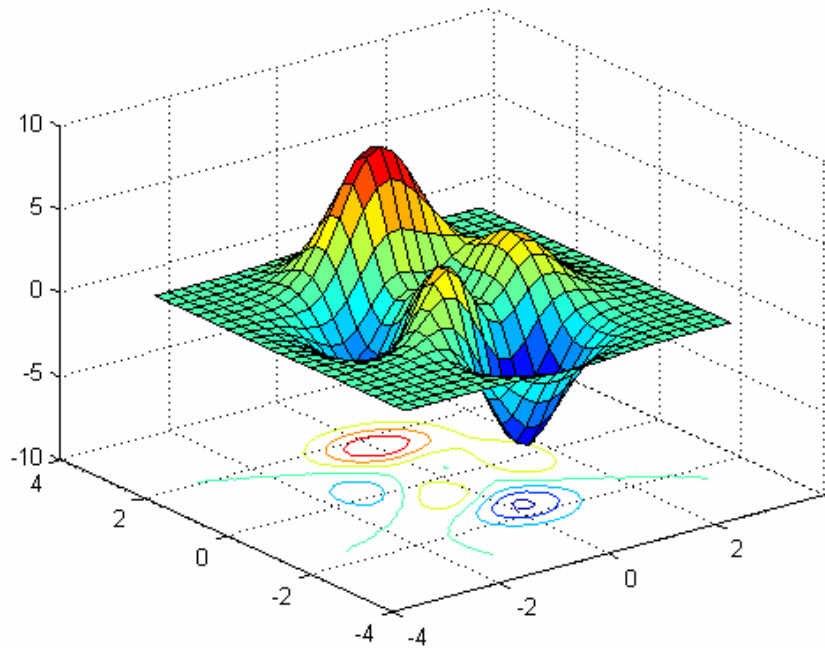
# La colorbar

- Nei grafici 3D è spesso utile affiancare al grafico una barra di colore che indica la corrispondenza tra colori e valori di altezza z, usando la funzione **colorbar**
- `colorbar('vert')` inserisce la colorbar in verticale
- `colorbar('horiz')` inserisce la colorbar in orizzontale



# Il comando caxis

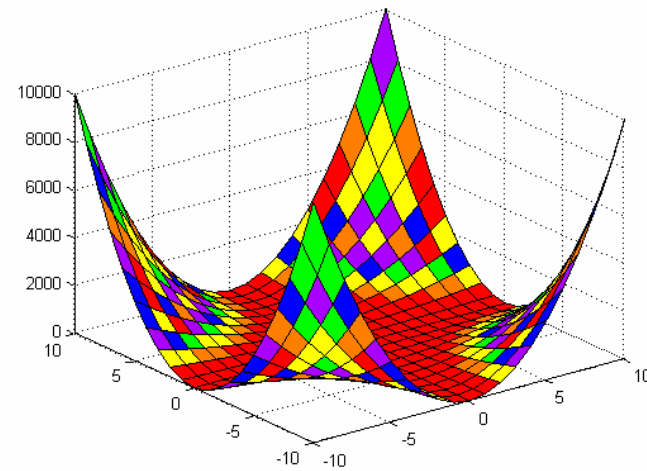
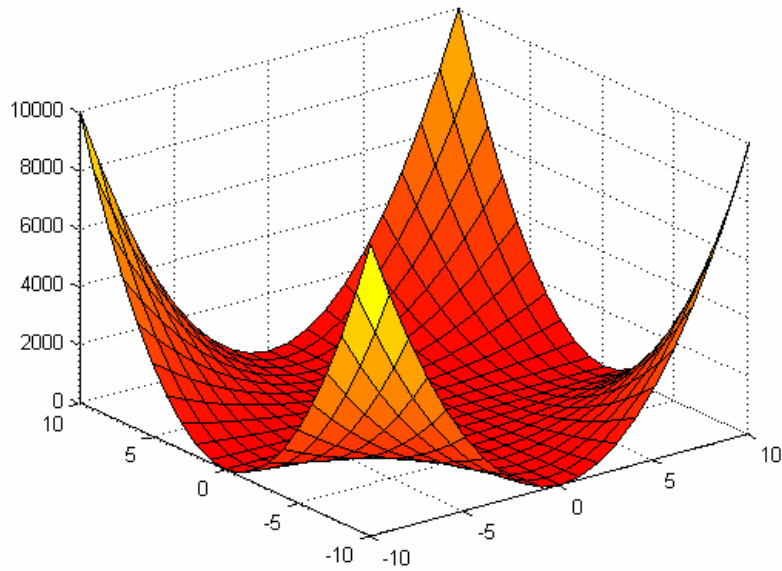
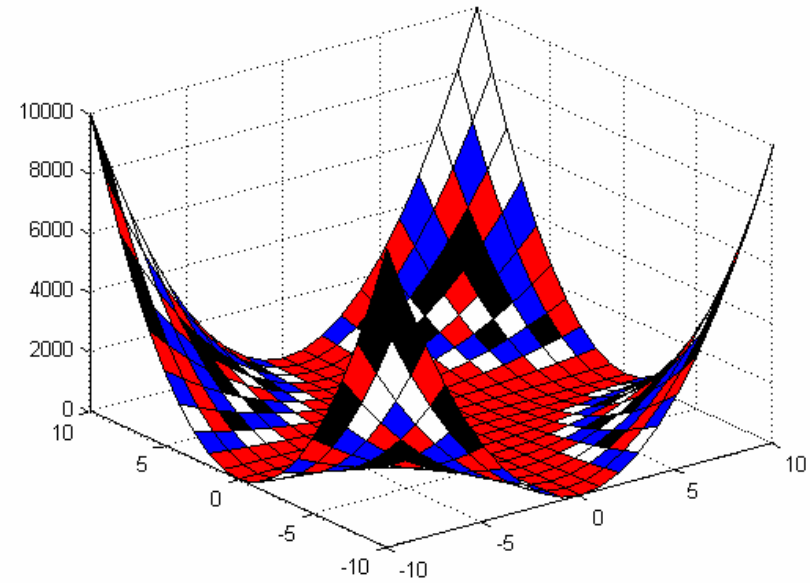
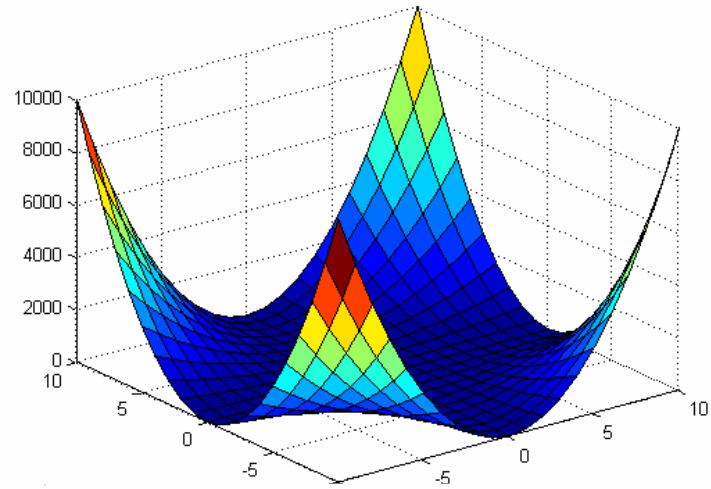
- Il comando **caxis** permette di definire l'intervallo da visualizzare a colori
- **caxis([min max])** sceglie i colori dalla mappa corrente e li assegna all'intervallo. I valori fuori dall'intervallo prendono colori fissi



# Gestione della mappa di colori

- **Matlab fornisce numerose opzioni per personalizzare la mappa di colori utilizzata in un grafico**
  - `colormap(colormap_name)` assegna una nuova mappa ad un grafico. Questa può essere una di quelle già disponibili oppure una realizzata *ad hoc*
  - hsv, jet, autumn, vga, summer, ...
  - Consultare l'help graph3D per altre informazioni
  - Usare la funzione `colormapeditor` per costruire la propria mappa di colore

# Esempi



# Grafica per immagini

- Una immagine non è altri che una matrice di numeri dotati di significato pittorico
- Viene visualizzata con diversi comandi
  - **image** visualizza una matrice di indici della colormap corrente
  - **imagesc** scala i valori per sfruttare tutta la colormap
  - **imshow** usa una colormap di default (grigi) o rappresentazioni true color per immagini a colori
- **Usato legato al toolbox di image processing**



# Altre funzionalità grafiche

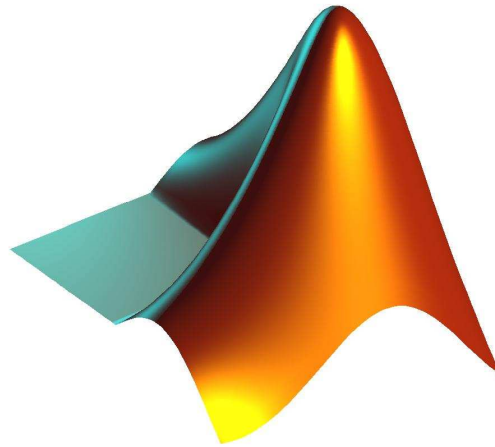
- Grafici speciali (polari con **polar**, a torta con **pie**, etc...)
- Effetti di sfumatura (**shading**)
- Sorgenti di illuminazione (**light**)
- Effetti di trasparenza (**alpha**)
- Stampa del grafico (**print**)

Per ognuna di queste funzionalità facciamo riferimento all'help ed alle risorse disponibili in rete

# L'ambiente Matlab

## per le applicazioni industriali

### (Parte 3 – Applicazioni numeriche)



# Fitting di dati

- **In generale il fitting si pone l'obiettivo di adattare un generico modello matematico a dei dati sperimentali**
- **Tramite il modello è possibile**
  - Ricostruire dati mancanti (interpolazione)
  - Stabilire delle tendenze (trend analysis)
  - Fare previsioni (estrapolazione)
- **Nel caso più semplice i dati sono rappresentati da due vettori X (input) e Y (output), ed il modello descrive una relazione fra questi, del tipo  $Y=f(X)$ , con f sconosciuta**
- **Molto spesso f è un polinomio**



# Polinomi

- **Matlab dispone di un metodo particolarmente efficace per rappresentare i polinomi tramite vettori**
- **La variabile  $P=[a \ b \ c]$  rappresenta il polinomio  $Y=aX^2+bX+c$**
- **I polinomi sono particolarmente utili per l'analisi dei dati perché sono un semplice modello relazionale tra X e Y**
- **I problemi di fitting con polinomi sono esprimibili con equazioni molto semplici**
- **Il valore del polinomio P nel punto X si calcola con**

$$Y=\text{polyval}(P,X)$$

# Operazioni tra polinomi

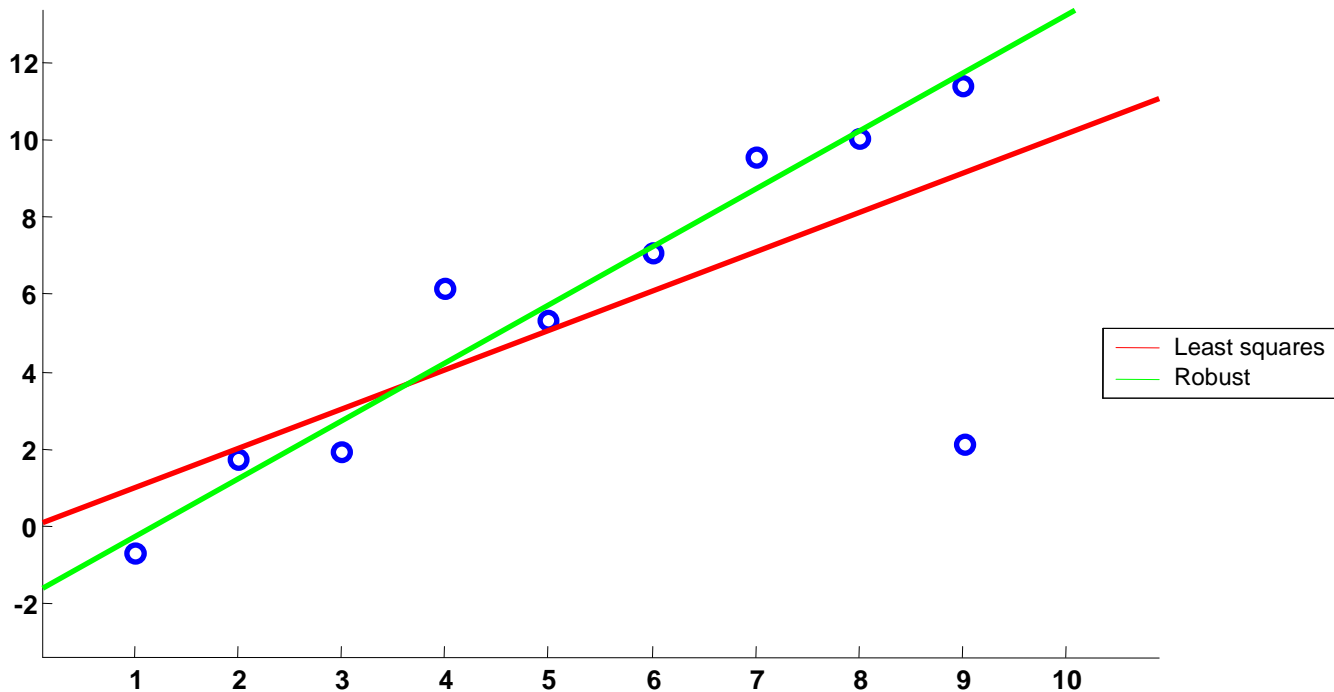
- **I polinomi consentono di effettuare numerose operazioni che continuano a produrre polinomi**
  - Addizione
  - Sottrazione
  - Moltiplicazione – funzione **conv**  
 $c = \text{conv}(a,b)$
  - Divisione – funzione **deconv**  
 $[q \ r] = \text{deconv}(a,b)$
  - Potenza
  - Derivazione – funzione **polyder**
  - Integrazione – funzione **polyint**

# Radici di un polinomio

- **Un polinomio di grado  $N$  ha sempre  $N$  radici (complesse)**
- **Un polinomio è quindi individuato univocamente dalle sue radici, cioè i valori per cui si annulla (reali o complessi)**
  - $R = \text{root}(P)$  estrae le radici del polinomio  $P$
  - $P = \text{poly}(R)$  crea un polinomio con radici  $R$
- **Le funzioni `root` e `poly` possono quindi essere intese una come l'inversa dell'altra (per radici calcolabili esattamente)**
- **Se  $N > 4$  non esistono soluzioni esatte e i dati generati da `root` sono ottenuti attraverso soluzioni numeriche**

# Fitting

- In generale una operazione di fitting può essere di tipo semplice (tutti i dati sono validi) oppure di tipo robusto (alcuni dati non sono validi e vanno scartati)
- Il fitting semplice spesso è quindi inadeguato



# Fitting

- La tecnica tradizionale di fitting è quella dei minimi quadrati, in cui si cerca un polinomio  $P$  di grado  $N$  che minimizza la distanza tra i dati  $Y$  ed i valori  $P(X)$
- $P = \text{polyfit}(X, Y, N)$
- Se  $N=1$  il fitting è lineare, se  $N=2$  è parabolico, etc. etc.
- Il tutto (come sempre accade in Matlab) senza scrivere una riga di codice (o quasi), e senza errori
- La finestra di plot fornisce questo ed altri metodi attivabili interattivamente

# Esempio di fitting

- **Tracciare il miglior fitting lineare (retta ai minimi quadrati) per un insieme di dati assegnato**

```
[V1, V2] = textread('testdata2.txt','%f%f','headerlines',1)
```

```
P = polyfit(V1,V2,1);
```

```
Y = polyval(P,V1);
```

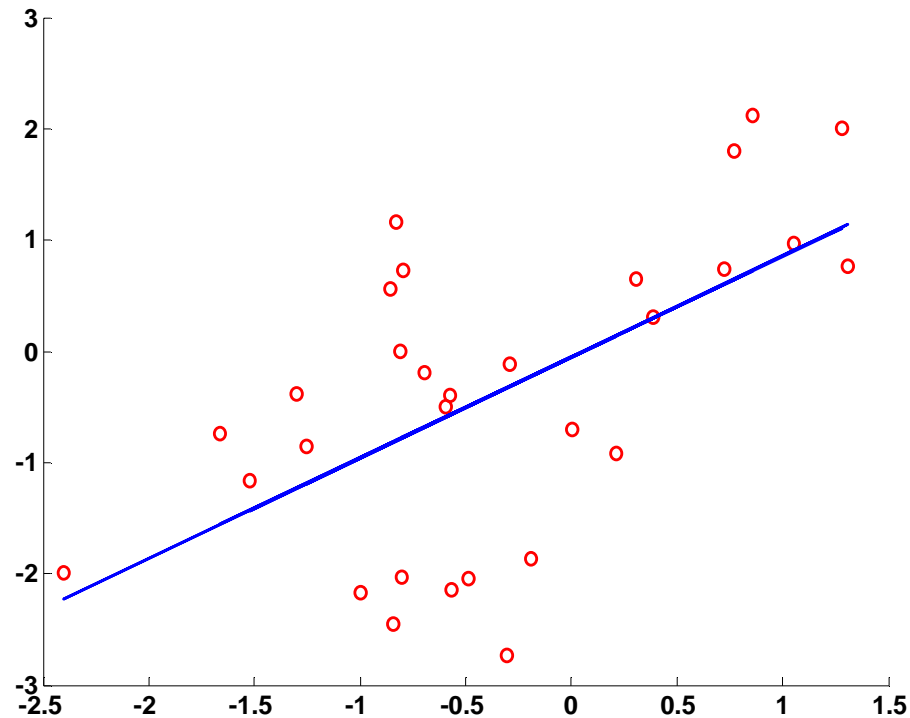
```
close all
```

```
figure(1)
```

```
hold on
```

```
plot(var1,var2,'ro')
```

```
plot(var1,Y)
```



# Fitting robusto

- Il fitting robusto permette di tenere conto della presenza di possibili dati errati (outliers), che vanno eliminati dal processo
- I metodi di fitting robusto sono contenuti nel toolbox “Statistics”
- Ad esempio  $P = \text{robustfit}(X,Y)$  esegue questa operazione
- Il comando **robustdemo** fornisce una valida presentazione di come questo processo lavora
- Ogni toolbox possiede in generale uno o più demo (scritti in Matlab e con sorgenti visionabili) che illustrano le principali funzionalità

# Fitting di ordine superiore

- **Attraverso polyfit si possono calcolare polinomi ai minimi quadrati di ordine arbitrario**

$$y = p_1 x^n + p_2 x^{n-1} + \dots + p_n x + p_{n+1}$$

- **Spesso è interessante confrontare la curva risultante al variare di N, in modo da stabilire quale valore di N è più appropriato**
- **Questa è la tipica operazione banale in Matlab perchè coinvolge solo diverse chiamate alla polyfit e funzioni plot**



# Esempio di fitting quadratico

```
% Lettura dei dati
```

```
[V1, V2] = textread('testdata2.txt','%f%f','headerlines',1)
```

```
% Calcolo del fitting con un polinomio di secondo grado
```

```
P2 = polyfit(V1,V2,2);
```

```
Y2 = polyval(P2,V1);
```

```
% Plot del risultato
```

```
close all
```

```
figure(1)
```

```
hold on
```

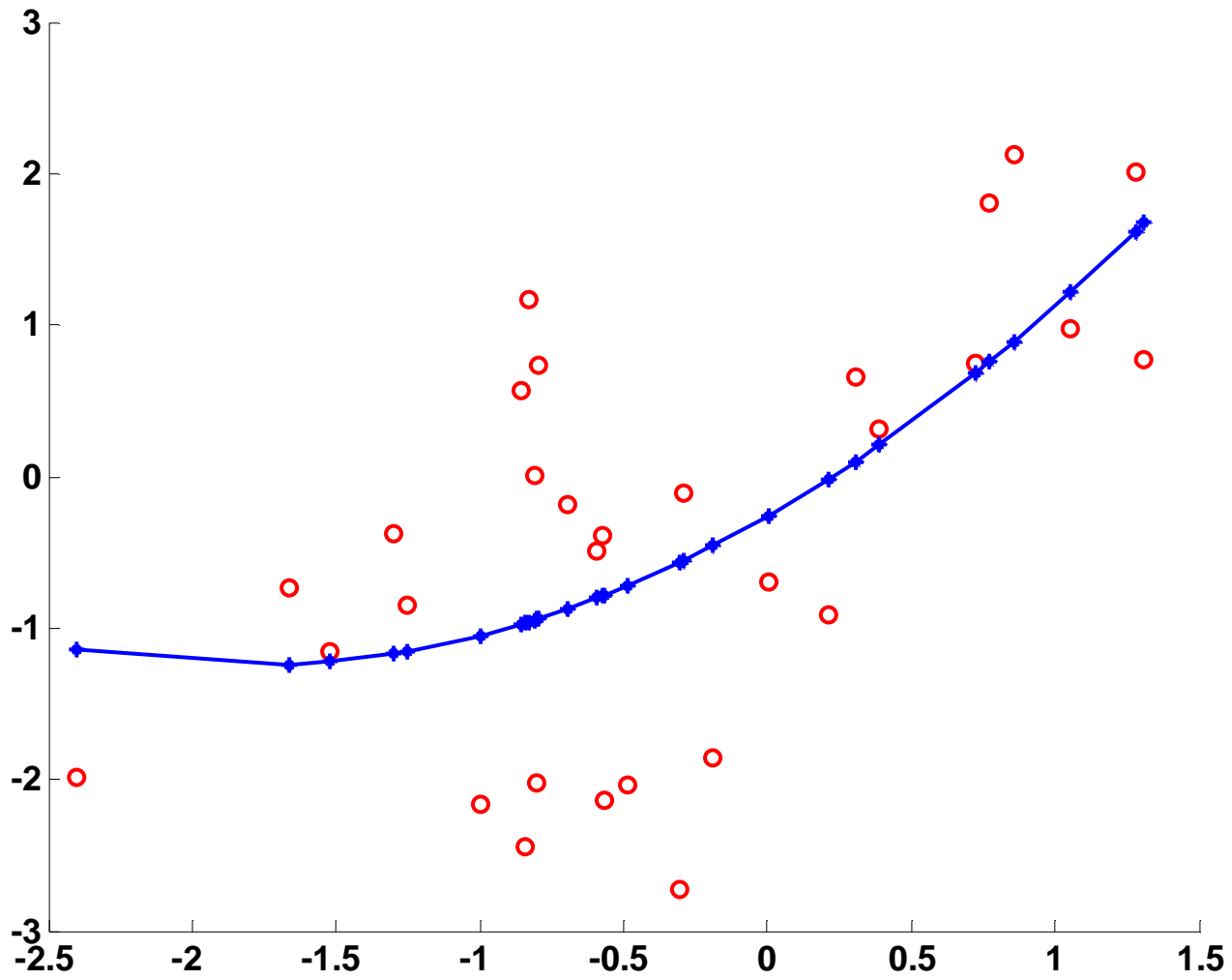
```
plot(V1,V2,'ro')
```

```
% Modifica alla grafica del polinomio
```

```
[sortval, sortind] = sort(V1)
```

```
plot(sortval,Y2(sortind),'b*-')
```

— 2nd Order Polynomial Fit



# Aggiunta di fitting cubico

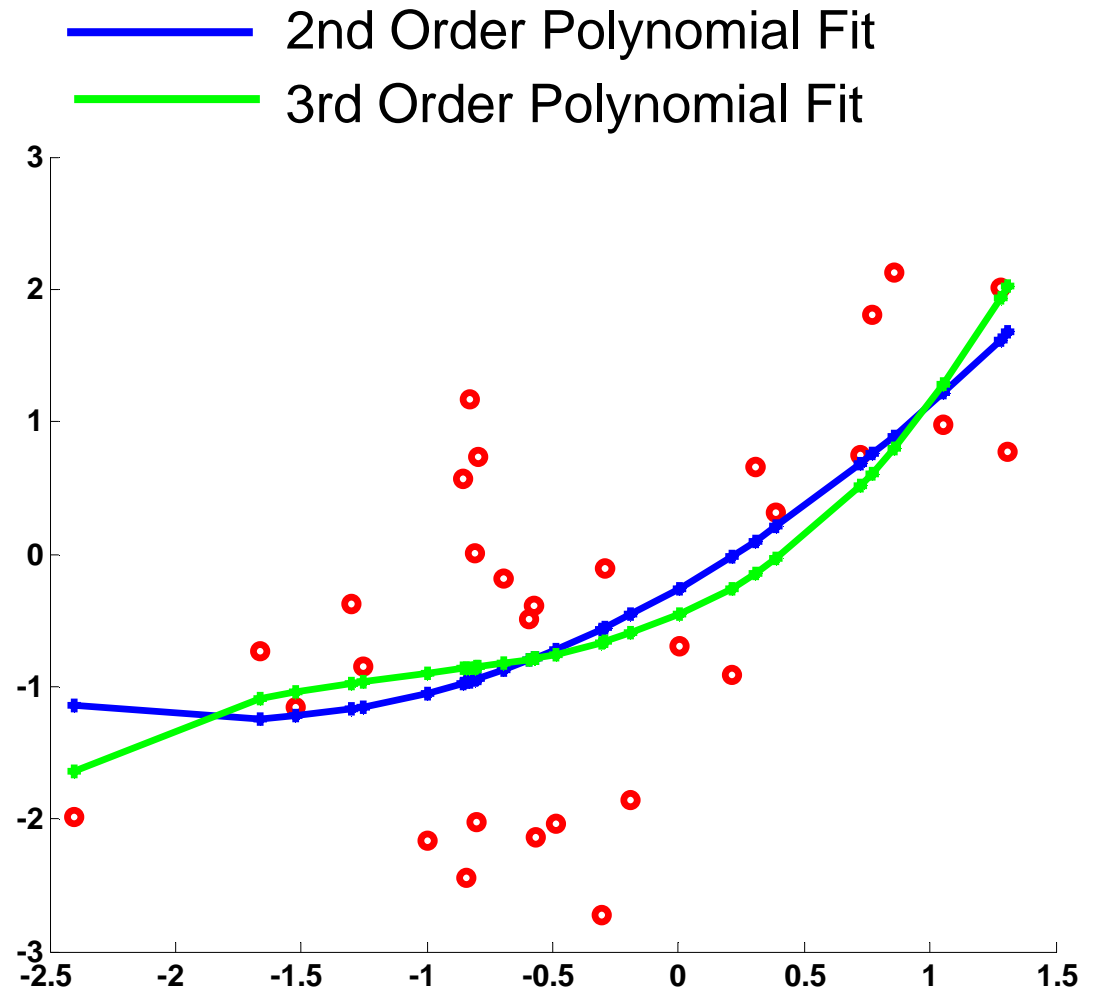
% Calcolo del fitting con un polinomio di terzo grado

```
P3 = polyfit(V1,V2,3);
```

```
Y3 = polyval(P3,V1);
```

% Aggiunta del grafico

```
plot(sortval,Y3(sortind),'g*-' )
```



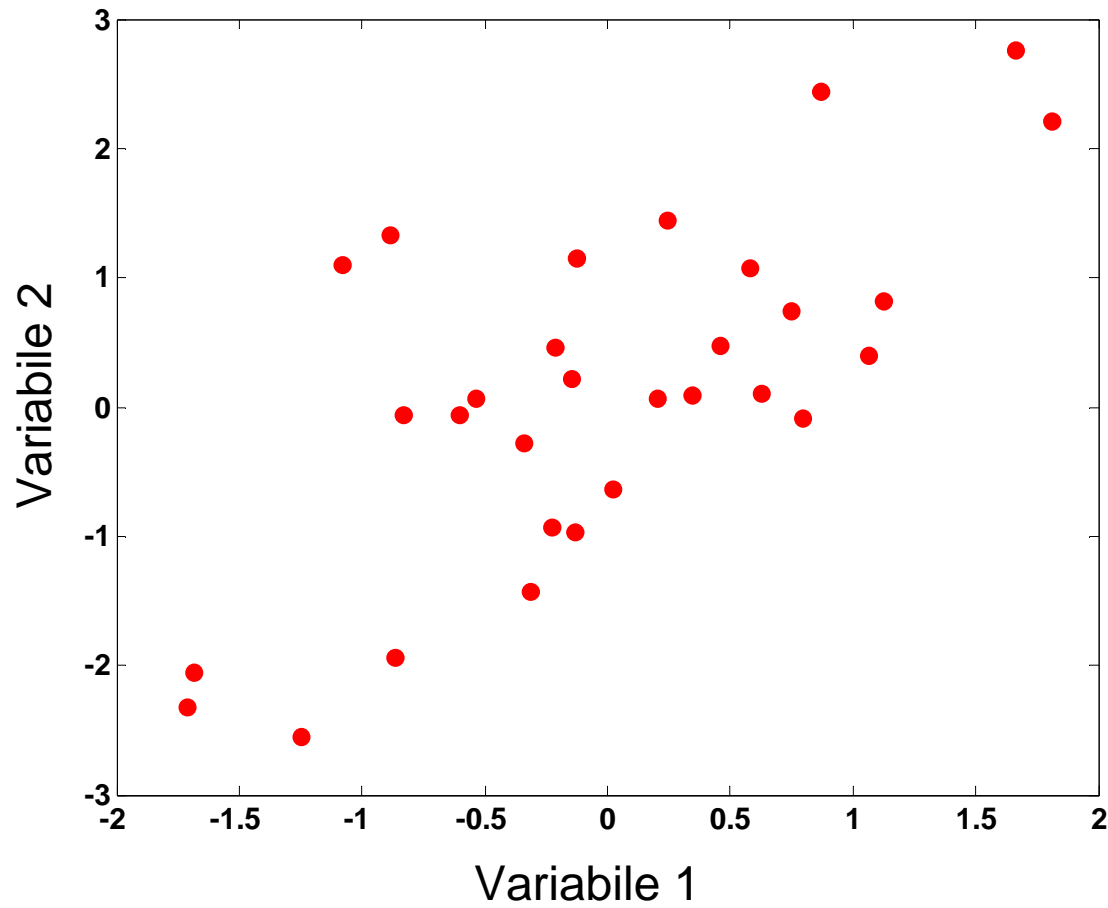
# Stabilire la bontà di un fitting

- **La parte difficile di un fitting non è quasi ma il calcolo dei coefficienti del modello, ma stabilire se il risultato è o non è adeguato**
- **Stabilire la qualità di un fitting richiede esperienza, conoscenza del problema, ma soprattutto una visione “statistica” del problema**
- **La statistica c’entra perchè gli errori sono variabili casuali, e la loro gestione è quindi un problema di tipo statistico**
- **Matlab ovviamente aiuta ad affrontare questo problema attraverso diverse funzioni specifiche**

# Correlazione tra dati

- Disponendo di diversi dati strutturati in modo analogo (vettori della stessa lunghezza) si possono impostare test per stabilire se esiste una correlazione tra questi
- Matlab dispone di diversi test possibili come il coefficiente di crosscorrelazione
  - $R = \text{corrcoeff}(X)$
- Se  $X$  è una matrice  $N \times M$ , contenente  $M$  dati misurati  $N$  volte,  $R$  è una matrice  $M \times M$  che quantifica l'esistenza di una relazione lineare tra coppie di dati

# Esempio



% Calcolo cross-correlazione

R = corrcoef([V1,V2])

R = 1.0000	0.7051
0.7051	1.0000

# Interpolazione

- **Nel fitting si usano di solito tutti i dati a disposizione per definire il modello**
- **Nella interpolazione, si è interessati a calcolare il valore “mancante” in un punto  $X_i$ , che quindi ci si aspetta dipendere solo dai dati “vicini” a  $X_i$**
- **Non è quindi necessario fittare tutti i dati  $X$  per ottenere il solo valore di  $Y$  nel punto  $X_i$**
- **Esistono allora diversi modelli di interpolazione che applicano un determinato modello solo in modo “locale”**

# Interpolazione

- **Matlab fornisce una funzione di uso generale per l'interpolazione di dati in forma vettoriale**
- **$Y_i = \text{interp1}(X, Y, X_i, \text{'metodo'})$**
- **Attraverso il parametro 'metodo' si possono selezionare**
  - **'linear'** Interpolazione lineare
  - **'splines'** Interpolazione con splines cubiche
  - **'cubic'** Interpolazione con cubiche di Hermite
  - **'nearest'** Interpolazione nearest neighbour
- **Il vettore X deve essere crescente, e se non lo fosse, occorre quindi precedere l'interpolazione con un ordinamento dei dati tramite **sort****



# Esempio

```
%esempi di interpolazione 1D
%generazione dei dati reali
X=-pi:0.01:pi;
Y=sin(X);
%dati campionati
XC=-pi:1.0:pi;
YC=sin(XC);
%calcolo diversi interpolatori
YN=interp1(XC,YC,X,'nearest');
YL=interp1(XC,YC,X,'linear');
YS=interp1(XC,YC,X,'spline');
%grafica
figure
plot(XC,YC,'ok');
hold on
plot(X,YN,'g',X,YL,'r',X,YS,'b');
```

# Interpolazione 2D

- L'interpolazione si estende direttamente anche a dati 2D (superfici)
- $Z_i = \text{interp2}(X, Y, Z, X_i, Y_i, \text{'metodo'})$
- $X, Y, Z$  sono tutte matrici della stessa dimensione che descrivono un reticolo regolare
- Esistono anche interpolazioni 2D pensate per disegnare superfici note solo su punti sparsi. In questi casi non sarebbe difatti possibile il normale plot tramite le funzioni mesh e surf
- $Z_i = \text{griddata}(X, Y, Z, X_i, Y_i, \text{'metodo'})$
- $X, Y, Z$  sono vettori che descrivono i dati sparsi

# Esempio

```
% interpolazione di dati 2D sparsi
% genero 100 dati vettoriali a caso tra -4 e 4
N=100;
X=rand(N,1)*8-4;
Y=rand(N,1)*8-4;
Z=sin(X).*cos(Y);
% voglio graficare questa superficie
% creo allora un reticolo 2D tra -4 e 4
[X1,Y1]=meshgrid(-4:0.1:4,-4:0.1:4);
% e ci interpolo i dati
Z1=griddata(X,Y,Z,X1,Y1,'linear');
% grafica delle superficie
figure(1)
surf(X1,Y1,Z1);
% grafica della superficie vera
figure(2)
Z2=sin(X1).*cos(Y1);
surf(X1,Y1,Z2);
```

# Sovra/sottocampionamento

- **Un caso particolare di interpolazione molto frequente nella pratica è quello in cui:**
  - Dato un vettore di N dati X
  - Si vuole ottenere un vettore di M dati Y
  - Con le stesse caratteristiche “statistiche”
- **Se  $M > N$  si parla di sovracampionamento, altrimenti di sottocampionamento**
- **Essendo un problema molto comune, Matlab ha già pronta la soluzione, basata sulla trasformata di Fourier**

$$Y = \text{interpft}(X, M)$$

# Sovra/sottocampionamento

- Il metodo utilizzato è basato sulla teoria di Shannon, secondo la quale, sotto opportune condizioni, una sequenza discreta di dati (segnale campionato) porta tutta l'informazione del segnale continuo
- Il segnale può in questi casi essere quindi arbitrariamente ricampionato in altri punti
- Funziona bene per dati variabili in modo lento (smooth), altrimenti può produrre valori non adeguati
- Approccio generalizzabile a dati N-dimensionali
  - ad esempio le immagini `A=imresize(B,[m n])`

# Smoothing

- Le operazioni di smoothing hanno lo scopo di ridurre gli errori presenti nei dati
- Esistono metodi di smoothing lineare (media o polinomi) o non lineare (mediana)
- Matlab fornisce implementazioni pronte di tutti quanti (sia nel modulo base che nei vari toolbox)
- Alcuni esempi
  - `filter`                      filtraggio lineare convolutivo
  - `medfilter1`                  filtraggio mediano

# Esempio

```
%esempi di smoothing 1D
close all;
%generazione dei dati reali rumorosi
X=0:0.01:pi;
amp=input('ampiezza rumore ...');
Y=sin(X)+amp*(rand([1 length(X)])-0.5);
%calcolo diversi tipi smoothing a passo N
N = 11;
F = ones([1 N])/N;
YF=filter2(F,Y);
YM=medfilt1(Y,N);
%grafica
figure
plot(X,Y,'k');
hold on
plot(X,YF,'g','LineWidth',5);
hold on
plot(X,YM,'r','LineWidth',5);
```

# Calcolo su funzioni

- **Matlab mette a disposizione molte funzionalità per operare su funzioni definite dall'utente per cercare:**
  - Zeri, con la funzione **fzero**
  - Minimi o massimi con la funzione **fmin**
- **Queste funzioni si appoggiano a librerie di calcolo numerico integrate appositamente in Matlab**
- **La funzione utente (definita in un M-file) viene passata come parametro**
  - $X = \text{fzero}(@\text{funzione}, X0)$
  - $X = \text{fmin}(@\text{funzione}, X1, X2)$
- **Ammettono entrambe un numero elevato di opzioni che condizionano la qualità e la precisione della ricerca**



# Esercizio

- **Un problema di marketing**
  - Una azienda deve decidere il prezzo di prodotto che massimizza il profitto sapendo che:
  - $\text{profitto} = (\text{prezzo} - \text{costo}) * \text{venduto}$
  - Il venduto è funzione del prezzo
  - Il costo è funzione del venduto
  - Queste funzioni sono espresse in forma parametrica in base a modelli econometrici
- **Gli economisti aziendali dicono:**
  - modello del costo  $c(v) = c_f + c_v * \exp(-v/v_{rif})$
  - modello del venduto  $v(p) = k * (p_{rif}/p)^a$
- **L'analista deve valutare il prezzo ottimale in funzione dei parametri significativi del problema**

# Esercizio

- **Intervistando la produzione si desume:**
  - Costo fisso  $cf = 100$
  - Costo variabile  $cv = 100$
  - Il costo variabile si riduce parecchio se si vendono almeno 1000 pezzi (vrif)
- **Intervistando il marketing si desume:**
  - Se il prodotto costasse 150, se ne venderebbero almeno 3000 pezzi
  - Se costasse di più se ne venderebbero di meno (!).
  - Con successiva richiesta emerge che se costasse il doppio se ne venderebbero  $\frac{1}{4}$ .
- **L'analista decide che ora ha abbastanza dati per partire con il calcolo e si mette al lavoro con il suo Matlab**

# Esercizio

- **Suggerimenti per la soluzione:**
  - Utilizzare una funzione che calcola il profitto per un prezzo assegnato
  - Provare un approccio semplice basato sul campionamento di un ragionevole intervallo di prezzo. Calcolare il profitto per ogni valore di prezzo e trovare il massimo con `max`
  - Più raffinato: massimizzare direttamente la funzione profitto nell'intervallo di prezzo selezionato, passandola come funzione alla `fmin` (o similare)

**Soluzione**

# Operazioni tra insiemi

- **Matlab consente anche di operare tra dati simbolici anziché numerici, intesi come elementi di insiemi**
- **A=[1 2 3 4] è un insieme di 4 elementi**
- **Gli elementi possono essere qualunque cosa (es. caratteri), quindi gli insiemi sono array di celle**
- **La funzione più potente che opera su un insieme è **unique**. Dato A essa ritorna un insieme B ordinato e con ogni elemento contenuto una sola volta**
  - A=[1 2 5 2 1 3 3 7]
  - B=unique(A)
  - [1 2 3 5 7]

# Operazioni tra insiemi

- **Unione (elementi che stanno in almeno uno)**
  - $C = \text{union}(A, B)$
- **Intersezione (elementi che stanno in entrambi)**
  - $C = \text{intersect}(A, B)$
- **Differenza (elementi che stanno solo nel primo)**
  - $C = \text{setdiff}(A, B)$
- **Appartenenza (presenza e posizione di un elemento dato)**
  - $\text{index} = \text{ismember}(A, b)$
- **Dimensione (numero di elementi)**
  - $b = \text{length}(A)$

# Esercizio

- **Sfruttando le funzioni degli insiemi, realizzare uno script Matlab che risolve uno schema di sudoku (almeno quelli semplici)**
- **Il sudoku prevede la definizione di una matrice 9x9 in cui:**
  - Ogni riga contiene tutti i simboli da 1 a 9
  - Ogni colonna contiene tutti i simboli da 1 a 9
  - Ognuna delle 9 sottomatrici 3x3 contiene tutti i simboli da 1 a 9
- **All'inizio la matrice contiene già un simbolo in alcune posizioni (quante e dove a seconda della complessità)**
- **Il vincolo costruttivo prevede che debba esistere sempre una ed una sola soluzione compatibile con la condizione iniziale**

# Esercizio (seguito)

- **Alcuni suggerimenti per la soluzione**
  - Usare lo zero per rappresentare le posizioni vuote
  - Usare find per trovare tutte le posizioni vuote
  - Usare gli insiemi per trovare i valori ammessi o non ammessi in una certa posizione
  - Assegnare una posizione solo quando c'è certezza sul valore
  - Gestire il possibile fallimento della strategia
- **Vincolo: non utilizzare cicli for (se possibile)**



**Soluzione**

# Equazioni differenziali

- **Spesso ci si trova di fronte a sistemi il cui modello prevede l'uso di equazioni differenziali (o anche sistemi)**
- **Matlab mette a disposizione soluzioni numeriche di vario livello per integrare direttamente queste equazioni a partire da condizioni iniziali note**
- **Si prevede sempre la riduzione alla forma normale**
  - $x' = f(t,x)$
- **La funzione incognita  $x(t)$  può essere scalare o vettoriale (sistema)**

# Equazioni differenziali

- La sintassi di tutti i metodi (es. **ode45**) è la stessa:
- **[t x]=ode45(@funzione,Tint,x0)**
  - [t,x] vettori di uscita per x(t)
  - @funzione punta alla funzione che descrive f
  - Tint è l'intervallo dove calcolare il risultato
  - X0 è la condizione iniziale
- **Il risultato è in una forma pronta per essere graficata con plot**
- **Esistono poi numerose parametrizzazioni definibili tramite il comando **odeset**('parametro',valore,.....)**

# Esercizio

- **Studiare l'evoluzione di due popolazioni descritte dalle equazioni di Volterra**
  - $x'=(a-by)x$
  - $y'=(cx-d)y$
- **Assegnare i parametri  $a,b,c,d$  e le condizioni iniziali  $x_0,y_0$  provando varie combinazioni**
- **Capire il significato delle varie situazioni che si producono**

**Soluzione**