

## Modularizzazione

- ▶ Quando abbiamo a che fare con un problema complesso spesso lo suddividiamo in problemi più semplici che risolviamo separatamente, per poi combinare insieme le soluzioni dei sottoproblemi al fine di determinare la soluzione del problema di partenza.
- ▶ **Esempio:** La moltiplicazione di numeri con molte cifre viene suddivisa in moltiplicazioni cifra per cifra e i risultati di queste ultime vengono combinate insieme mediante addizioni.
- ▶ Questo procedimento è applicabile anche alla programmazione.
  - ▶ si suddivide un problema complesso in problemi di volta in volta più semplici
  - ▶ una volta individuati (sotto)problemi sufficientemente elementari si risolvono questi ultimi direttamente
  - ▶ si combinano le soluzioni dei sottoproblemi per ottenere la soluzione del problema di partenza

- ▶ **Approccio top-down:** si parte dall'alto, considerando il problema nella sua interezza e si procede verso il basso per raffinamenti successivi fino a ridurlo ad un insieme di sottoproblemi elementari
- ▶ **Approccio bottom-up:** ci si occupa prima di risolvere singole parti del problema, senza averne necessariamente una visione d'insieme, per poi risalire procedendo per aggiustamenti successivi fino ad ottenere la soluzione globale.
- ▶ I linguaggi di programmazione mettono a disposizione dei meccanismi di **astrazione** che favoriscono un approccio modulare
  - Astrazione sui dati** - il programmatore può definire nuovi tipi di dato specifici per il particolare problema (**tipi di dato astratti**)
    - ▶ collezioni di valori
    - ▶ operazioni con le quali operare su tali valori
  - Astrazione funzionale** - il programmatore può estendere le funzionalità del linguaggio definendo **sottoprogrammi** che risolvono (sotto)problemi specifici.
    - ▶ i sottoprogrammi sono di solito **parametrici**
    - ▶ possono essere (ri)usati alla stessa stregua delle operazioni built-in del linguaggio

## Funzioni

- ▶ In C i sottoprogrammi si realizzano attraverso le **funzioni**.
- ▶ Una funzione può essere vista come una **scatola nera**:

parametri di ingresso  $\longrightarrow$  **F**  $\longrightarrow$  valore calcolato

- risolve un sottoproblema specifico
- attraverso i parametri e il risultato scambia informazioni con il main e con altre funzioni

### Esempio:

$x$	$\longrightarrow$	<b>abs</b>	$\longrightarrow$	$ x $
$x, y$	$\longrightarrow$	<b>mcd</b>	$\longrightarrow$	$mcd(x, y)$
$b, e$	$\longrightarrow$	<b>exp</b>	$\longrightarrow$	$b^e$
$x_1, \dots, x_n$	$\longrightarrow$	<b>sum</b>	$\longrightarrow$	$\sum_{i=1}^n x_i$

### Esempio: Definizione di **abs** in C

```
int abs(int x)
{
    int ris;
    if (x<0)
        ris = -x;
    else
        ris = x;
    return ris; }
```

- ▶ Uso della funzione

```
main()
{
    int x1, x2, z, w;
    ...
    z = abs(x1);
    ...
    printf("%d\n", w + abs(x2));
    ...
}
```

- ▶ Il linguaggio deve mettere a disposizione strumenti per
  - ▶ **definire** nuove operazioni astratte (funzioni)
  - ▶ **usare** le nuove operazioni definite
- ▶ Distinguiamo due momenti diversi:
  - ▶ la **definizione della funzione** definisce il codice che realizza l'operazione astratta
  - ▶ e la **chiamata della funzione** corrisponde all'utilizzo della funzione
- ▶ Ad una stessa definizione possono corrispondere diverse chiamate (come `z = abs(x1)` e `w + abs(x2)` nell'esempio precedente).
- ▶ Nella definizione della funzione, il codice può usare liberamente i **parametri formali** della funzione (nell'esempio `x`)  
⇒ un parametro formale è una variabile che viene inizializzata al momento della chiamata della funzione con un corrispondente argomento

### Esempio:

```
int exp(int base, int esponente)
{
    int ris = 1;
    while (esponente > 0)
    {
        ris = ris * base;
        esponente = esponente - 1;
    }
    return ris;
}
```

- ▶ I **parametri formali** sono base ed esponente

- ▶ Al momento della chiamata, alla funzione vengono forniti i valori degli argomenti, o **parametri attuali**, rispetto ai quali effettuare il calcolo

```
int exp(int base, int esponente)
{...}
```

```
main() {
int b, e, r1, r2;
...
r1 = exp(2,5);
...
scanf("%d %d", &b, &e);
r2 = exp(b, e);
... }
```

- ▶ Prima chiamata `exp(2,5)`
  - ▶ 2 è il parametro attuale corrispondente a **base**
  - ▶ 5 è il parametro attuale corrispondente a **esponente**
- ▶ Seconda chiamata `exp(b,e)`
  - ▶ **b** è il parametro attuale corrispondente a **base**
  - ▶ **e** è il parametro attuale corrispondente a **esponente**

## Funzioni: definizione

Sintassi:

`intestazione blocco`

dove

- ▶ `blocco` è il **corpo della funzione**
- ▶ `intestazione` è l'**intestazione della funzione** ed ha la seguente forma:

```
id-tipo identificatore (parametri-formali)
```

  - ▶ `id-tipo` specifica il **tipo del risultato** calcolato dalla funzione
  - ▶ `identificatore` specifica il **nome** della funzione ed è un qualsiasi identificatore C valido
  - ▶ `parametri-formali` è una sequenza (eventualmente vuota) di dichiarazioni di parametro (tipo e nome) separate da virgola

**Esempi:** intestazioni di funzione

- ▶ `int abs (int x)`
- ▶ `int MassimoComunDivisore(int a, int b)`
- ▶ `double Potenza(double x, double y)`
- ▶ `float media (int vet[], int lung)`

## Funzioni: chiamata (invocazione, attivazione)

Sintassi:

`identificatore (parametri-attuali)`

- ▶ `identificatore` è il nome della funzione
- ▶ `lista-parametri-attuali` è una lista di **espressioni** separate da virgola
- ▶ i parametri attuali devono corrispondere in **numero** e **tipo** ai parametri formali

**Esempi:** chiamate di funzioni

```
int mcd, x, y1, y2;
double exp, w, v, z;
...
mcd = MassimoComunDivisore(x+1, y1+y2);
exp = Potenza(z, 3.0);
...
exp = Potenza(z, Potenza(v,w));
```

## Semantica (informale) di una chiamata di funzione

- ▶ Dentro il corpo di una funzione **F** compare una chiamata di un'altra funzione **G**
  - ▶ **F** viene detta funzione **chiamante**
  - ▶ **G** viene detta funzione **chiamata**

**Esempio:** nel `main` c'è un assegnamento `x = abs(x);`  
 $\implies$  `main` è il chiamante, `abs` il chiamato
- ▶ Una chiamata di funzione è un'**espressione**, la cui valutazione avviene come segue:
  - ▶ viene sospesa l'esecuzione di **F** e viene "ceduto il controllo" a **G**, dopo aver opportunamente associato i parametri attuali ai parametri formali (**passaggio dei parametri**, fra poco ...)
  - ▶ vengono eseguite le istruzioni di **G**, a partire dalla prima
  - ▶ l'esecuzione di **G** termina con l'esecuzione di un'istruzione speciale (istruzione **return**) che calcola il risultato della chiamata (è il valore dell'espressione corrispondente alla chiamata)
  - ▶ al termine dell'esecuzione di **G** il controllo ritorna a **F**, che prosegue l'esecuzione a partire dal punto in cui **G** era stata attivata

## Valore di ritorno di una funzione: istruzione `return`

- ▶ **Esempio:** Funzione che restituisce il massimo tra due interi.

```
int max(int m, int n) {
    if (m >= n)
        return m;
    else
        return n; }
```

- ▶ Chiamata di `max`, ad esempio da `main`:

```
main() {
    int i, j, massimo;
    scanf("%d%d", &i, &j);
    massimo = max(i,j);
    printf("massimo = %d\n", massimo); }
```

- ▶ La funzione `main` tramite i parametri attuali **comunica** alla funzione `max` i valori sui quali calcolare la funzione (il valore delle variabili `i, j`).
- ▶ La funzione `max` tramite il valore di ritorno **comunica** il risultato al `main`.

- ▶ Nel corpo **deve** esserci l'istruzione `return espressione`; la cui esecuzione comporta:
  - ▶ il calcolo del valore di **espressione**: questo valore viene restituito al chiamante come risultato dell'esecuzione della funzione
  - ▶ la cessione del controllo alla funzione chiamante

### Osservazioni

- ▶ in `return espressione`, il tipo di **espressione** deve essere lo stesso del tipo del risultato della funzione dichiarato nella definizione
- ▶ l'esecuzione di `return espressione` comporta la **terminazione** dell'esecuzione della funzione

#### Esempio:

```
int max(int m, int n) {
    if (m >= n)
        return m;
    else
        return n;
    printf("pippo"); /* non viene mai eseguita */ }
```

## Dichiarazioni di funzione (o prototipi)

- ▶ I parametri attuali nella chiamata di una funzione devono corrispondere in numero e tipo (in ordine) ai parametri formali.
- ▶ Dobbiamo permettere al compilatore di fare questo controllo  
⇒ prima della chiamata deve essere nota l'intestazione
- ▶ Due possibilità:
  1. la funzione è stata **definita** prima
  2. la funzione è stata **dichiarata** prima

### Sintassi della **dichiarazione di funzione** (o **prototipo**)

`intestazione;`                      ovvero:  
`id-tipo identificatore (parametri-formali);`

- ▶ c'è un “;” finale al posto del blocco
- ▶ nella lista di parametri formali può anche mancare il nome dei parametri — interessa solo il tipo
- ▶ il compilatore usa la dichiarazione per controllare che l'attivazione sia corretta
- ▶ dopo **deve** esserci una definizione della funzione coerente con la dichiarazione

## Ordine di dichiarazioni e funzioni

- ▶ Bisogna dichiarare o definire ogni funzione **prima** di usarla (chiamarla)
- ▶ È pratica comune specificare in quest'ordine:
  1. dichiarazioni (**prototipi**) di tutte le funzioni (tranne `main`)
  2. definizione di `main`
  3. definizioni delle funzioni
- ▶ In questo modo ogni funzione è stata dichiarata prima di essere usata
- ▶ L'ordine in cui mettiamo le definizioni non deve necessariamente corrispondere a quello delle dichiarazioni.

**Esempio:**

```
int max(int, int);

int foo(char, int);

main() ...

int max(int m, int n) ... /* OK. definizione coerente
con il prototipo */

int foo (int z, char c) ... /* NO! definizione non coerente
con il prototipo */
```

Nella definizione di `foo` i parametri formali non sono nell'ordine specificato dal prototipo.

## Passaggio dei parametri

- ▶ Abbiamo visto che le funzioni utilizzano **parametri**
  - ▶ permettono uno **scambio di dati** tra chiamante e chiamato
  - ▶ nell'intestazione/prototipo: lista di **parametri formali** (con tipo associato) – sono delle variabili
  - ▶ nell'attivazione: lista di **parametri attuali** — possono essere delle espressioni
- ▶ Al momento della chiamata ogni **parametro formale viene inizializzato al valore del corrispondente parametro attuale**.
- ▶ Il valore del parametro attuale viene **copiato** nella locazione di memoria del corrispondente parametro formale.
- ▶ Questo meccanismo di passaggio dei parametri viene comunemente detto **passaggio per valore**.

## Esempio:

```
int succ (int);    /* prototipo di succ */

main()
{  int z, w;
   z = 10;
   w = succ(z);
   printf("%d", w);
}

int succ (int x)
{  x = x + 1;
   return x;
}
```

- ▶ L'effetto della chiamata `succ(z)` può essere **simulato** dall'esecuzione della seguente porzione di codice:

```
x = z;           /* il parametro formale viene inizializzato con
                  il valore del parametro attuale */
x = x + 1;       /* esecuzione del corpo della funzione
return x;        succ */
```

- ▶ Chiamate diverse corrispondono ad inizializzazioni diverse delle variabili corrispondenti ai parametri formali

```
w = succ(20);    x = 20;
                 ⇒ x = x + 1;
                 return x;
```

- ▶ In questo caso il valore assegnato alla variabile `w` è 21.

```
z = 10;
w = succ(z+3);   x = z+3;
                 ⇒ x = x + 1;
                 return x;
```

- ▶ In questo caso il valore assegnato alla variabile `w` è 14.

- ▶ Se non vi è corrispondenza perfetta tra il tipo del parametro formale e quello del parametro attuale, viene effettuata una **conversione implicita** di tipo secondo le regole già viste.
- ▶ Il passaggio dei parametri di tipo array **non** comporta la copia dei valori dell'array (fra poco ...)

## Procedure

- ▶ Non sempre le operazioni astratte di cui abbiamo bisogno possono essere descritte in modo naturale come funzioni matematiche.

**Esempio:** progettare un'interfaccia utente per la stampa di figure geometriche, in cui l'utente può scegliere:

1. la forma della figura
2. la dimensione
3. il carattere di riempimento
4. ...

- ▶ In questo caso il compito dell'operazione astratta non è (o non è soltanto) produrre un valore, ma è produrre effetti di altro tipo, tipicamente **modifiche di stato**.

⇒ in questi casi possiamo utilizzare **procedure**

- ▶ le **procedure** sono un'astrazione delle **istruzioni**
- ▶ le **funzioni** sono un'astrazione degli **operatori**

## Le procedure in C

- ▶ Una procedura è una funzione avente come tipo del risultato il tipo speciale **void**.
- ▶ La definizione/dichiarazione di procedure e la loro chiamata è analoga al caso delle funzioni

**Esempio:**

```
void emoticon (int n)
{ /* stampa n volte la sequenza -:) */
  int i;
  for (i=0; i<n; i++)
    {putchar('-'); putchar(':'); putchar(')'); putchar(' ');}
}

main() {
  ...;
  emoticon(3);
  ... }
```

- ▶ Le procedure non contengono di solito un'istruzione **return** (se la contengono è del tipo **return;** che non comporta il calcolo di alcun valore, ma solo la cessione del controllo al chiamante)

- ▶ La semantica di una chiamata di procedura **P** da una funzione/procedura **F** è analoga a quella della chiamata di funzione, ma una chiamata di procedura è un'**istruzione**, non un'**espressione**; quindi non può comparire, per esempio, a destra di un assegnamento.
- ▶ In particolare, il passaggio dei parametri avviene per **valore** come nel caso delle funzioni
- ▶ il controllo viene restituito al chiamante al termine dell'esecuzione del blocco che costituisce il corpo della procedura (o in corrispondenza dell'esecuzione di un'istruzione del tipo **return;**)
- ▶ Il C non distingue tra funzioni e procedure (queste ultime sono casi particolari di funzioni)  
⇒ concettualmente, però, è bene vedere le funzioni come astrazioni di **operazioni** e le procedure come astrazioni di **istruzioni**.

### Esempio:

Procedura che stampa una cornice di asterischi di "altezza" parametrica

```
void stampaCornice(int altezza)
{
    int i;
    printf("*****\n");
    for (i=1; i<=altezza; i++)
        printf("*          *\n");
    printf("*****\n");
    return;
}
```

- ▶ Come astrazione delle istruzioni, le procedure possono dover **modificare lo stato**.

**Esempio:** Procedura `abs` che **assegna** ad una variabile intera il suo valore assoluto

- ▶ il chiamante deve comunicare alla procedura la variabile in questione
- ▶ la procedura deve analizzare il valore della variabile e, se necessario, effettuare il rimpiazzamento

- ▶ La seguente realizzazione della procedura non è corretta

```
void abs(int x)
{   if (x < 0)
        x = -x;   }
```

- ▶ Simuliamo il comportamento di una chiamata della procedura (come visto in precedenza)

```
int z = -5;
abs(z);           ⇒   x = z;
                   if (x < 0) x = -x;
```

- ▶ La modifica del parametro formale **non** si ripercuote sul parametro attuale (si ricordi che il passaggio dei parametri è **per valore**).

## Passaggio dei parametri per indirizzo

- ▶ Per ottenere l'effetto di modificare il valore dei parametri attuali, alcuni linguaggi (es. Pascal) prevedono un'ulteriore modalità di passaggio dei parametri, il passaggio **per indirizzo**
  - ▶ informalmente: il passaggio per indirizzo fa in modo che, al momento della chiamata, il parametro formale costituisca un modo **alternativo** per accedere al parametro attuale (che **deve** essere una variabile e non può essere una generica espressione)
  - ▶ durante l'esecuzione del corpo, ogni riferimento (e in particolare ogni modifica) al parametro formale è di fatto un riferimento al parametro attuale.
- ▶ In C esiste solo il passaggio per valore, ma quello per indirizzo si può realizzare come segue:
  1. si utilizza un parametro formale di tipo **puntatore**
  2. all'interno del corpo della procedura ogni riferimento al parametro formale avviene attraverso l'operatore di dereferenziazione `*`
  3. al momento della chiamata, si utilizza come parametro attuale un indirizzo di una variabile (utilizzando, se necessario, l'operatore di indirizzo `&`).

**Esempio:** Riprendiamo l'esempio del valore assoluto.

```
void abs(int *x)
{
    if (*x < 0)
        *x = -(*x);
}
```

- ▶ Nel chiamante si utilizzano chiamate del tipo `abs(&z)` per ottenere l'effetto di rimpiazzare il valore della variabile `z` con il suo valore assoluto.

```
int z = -5;
abs(&z);    ⇒    x = &z;
              if (*x < 0) *x = -(*x);
```

- ▶ **N.B.** Il passaggio dei parametri è sempre per **valore**, ma questa volta viene passato un valore puntatore che consente di accedere alla variabile del chiamante.
- ▶ Nell'esempio, l'assegnamento `*x = -(*x);` ha come effetto la modifica della variabile `z` del chiamante, in quanto il valore di `x` è `&z` e dunque `*x` è proprio `z`.

**Esempio:** Procedura per lo scambio di due variabili intere

```
void swap(int *x, int *y)
{
    int temp = *x;
    *x = *y;
    *y = temp;
}
```

- ▶ Esempio di utilizzo: programma che legge due valori interi e li stampa in ordine crescente.

```
main() {
    int a, b;
    scanf("%d", &a);
    scanf("%d", &b);
    if (a > b) swap(&a, &b);
    printf("Valore minimo: %d\n", a);
    printf("Valore massimo: %d\n", b); }
}
```

## Parametri di tipo vettore

- ▶ Il meccanismo del passaggio **per valore** di un **indirizzo** consente il passaggio di vettori come parametri di funzioni/procedure.
- ▶ Quando si passa un vettore come parametro ad una funzione, in realtà si sta passando l'indirizzo dell'elemento di indice **0**.
- ▶ Il parametro formale deve essere di tipo **puntatore** (al tipo degli elementi del vettore)
- ▶ di solito si passa anche la dimensione del vettore in un ulteriore parametro.

### Esempio:

```
void stampaVettore(int *v, int dim)
{ int i;
  for (i = 0; i < dim; i++)
    printf("v[%d]: %d\n", i, v[i]);
}

main()
{ int vet[5] = {1, 2, 3, 4, 5};
  ...
  stampaVettore(vet, 5);    ... }
```

- ▶ Per evidenziare che il parametro formale è un vettore (ovvero l'indirizzo dell'elemento di indice **0**), si può utilizzare la notazione **nome-parametro[]** invece di **\*nome-parametro**.

**Esempio:** `void stampa(int v[], int dim) { ... }`

- ▶ Si può anche specificare la dimensione nel parametro, ma questa viene ignorata.

**Esempio:** `void stampa(int v[5], int dim) { ... }`

- ▶ Come al solito, nel prototipo della funzione il nome del parametro (vettore) può anche mancare.

**Esempio:** `void stampa(int [], int);`

- ▶ Il passaggio di un vettore è un **passaggio per indirizzo**.  
 ⇒ La funzione può modificare gli elementi del vettore passato.

**Esempio:** Lettura di un vettore.

```
void leggiVettore(int v[], int dim)
{
    int i;
    for (i = 0; i < dim; i++)
    {
        printf("Immettere l'elemento di indice %d: ", i);
        scanf("%d", &v[i]);
    }
}
```

**Esempio:** Programma che legge, inverte e stampa un vettore di interi

```
#include <stdio.h>
#define LUNG 5

void leggiVettore(int [], int);
void stampaVettore(int [], int);
void invertiVettore(int [], int);

main()
{
    int vett[LUNG];

    leggiVettore(vett, LUNG);
    printf("Vettore prima dell'inversione\n");
    stampaVettore(vett, LUNG);

    invertiVettore(vett, LUNG);
    printf("Vettore dopo l'inversione\n");
    stampaVettore(vett, LUNG);
}
```

- ▶ La definizione della procedura  
`void invertiVettore(int [], int);` è lasciata per **esercizio**.

## Passaggio di matrici come parametri

- ▶ Quando passiamo un **vettore** ad una funzione, passiamo in realtà il puntatore (costante) all'elemento di indice 0.  
 ⇒ **non** serve specificare la dimensione nel par. formale.
- ▶ Quando passiamo una **matrice** ad una funzione, per poter accedere correttamente agli elementi, la funzione deve conoscere **il numero di colonne** della matrice.  
 ⇒ Non possiamo specificare il parametro nella forma `mat [] []`, come per i vettori, ma dobbiamo specificare il numero di colonne.

**Esempio:** `void stampa(int mat[][5], int righe){ }`

- ▶ Il motivo è semplice: per accedere ad un generico elemento della matrice, `mat[i][j]`, la funzione deve **calcolare** l'indirizzo di tale elemento `mat + offset`. Per calcolare correttamente `offset` è necessario sapere quante sono le colonne.
- ▶ L'indirizzo di `mat[i][j]` è infatti:  

$$\text{mat} + (i \cdot C \cdot \text{sizeof(int)}) + (j \cdot \text{sizeof(int)})$$
 dove **C** è il numero di colonne (gli elementi in ciascuna riga).

### Riassumendo:

- ▶ per calcolare l'indirizzo dell'elemento `mat[i][j]` è necessario conoscere:
  - ▶ il valore di `mat`, ovvero l'indirizzo del primo elemento della matrice
  - ▶ l'indice di riga `i` dell'elemento
  - ▶ l'indice di colonna `j` dell'elemento
  - ▶ il numero `C` di colonne della matrice
- ▶ In generale, in un parametro di tipo array vanno specificate tutte le dimensioni, tranne eventualmente la prima.
  1. **vettore**: non serve specificare il numero di elementi
  2. **matrice**: bisogna specificare il numero di colonne, ma non serve il numero di righe

## Esercizio

Definire le funzioni/procedure utilizzate nel seguente programma e completare con gli opportuni parametri attuali la chiamata di `swap` in modo che il suo effetto sia di scambiare gli elementi minimo e massimo del vettore.

```
#include <stdio.h>
#define LUNG 10

void leggivet (int [] vet, int dim);
void stampavet (int [] vet, int dim);
int indice_minimo (int vet[], int dim);
int indice_massimo (int vet[], int dim);
void swap (int *, int *);

main()
{
    int vettore[LUNG], pos_min, pos_max;

    leggivet(vettore, LUNG);
    pos_min = indice_minimo(vettore, LUNG);
    pos_max = indice_massimo(vettore, LUNG);
    swap (?, ?); /* scambio degli elementi minimo e massimo */
    printf("Vettore dopo lo scambio dell'elemento minimo e massimo:\n");
    stampavet(vettore, LUNG);
}
```