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 succ (int x)
   {  int z, w;                               { x = x + 1;
      z = 10;                                   return x;
      w = succ(z);                           }
      printf("%d", w);
   }
```

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

```
x = 10;          /* il parametro formale si inizializza 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 = 13;
                  ⟹    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.

  $\Longrightarrow$ in questi casi possiamo utilizzare procedure

  - le procedure sono un'astrazione delle istruzioni
  - le funzioni sono un'astrazione delle espressioni

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
- 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)
  $\Longrightarrow$ concettualmente, però, è bene vedere le funzioni come astrazioni di espressioni 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 x il suo valore assoluto
  - il chiamante deve comunicare alla procedura la variabile x
  - 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 = -5;
                     if (x < 0) x = -x;
```

- La modifica del parametro formale non si ripercuote sul parametro attuale (il passaggio è per valore).

Variabili locali

- Il blocco che costituisce il corpo di una funzione/procedura può contenere dichiarazioni di variabili.

  Esempio:

  - sono variabili proprie della funzione
  - hanno tempo di vita limitato alla durata della chiamata
  - più in generale: un identificatore dichiarato nel corpo di una funzione è detto locale alla funzione e non è visibile all'esterno della funzione (ad esempio nel `main`), ma solo nel corpo della stessa

- In realtà, ciò non è altro che un caso particolare di regole generali che governano la visibilità e il tempo di vita degli identificatori di un programma.

Struttura generale di un programma C

- parte direttiva
- parte dichiarativa globale che comprende (ricordarsi l'acrostico La Cosa Tre Volte Più Facile):
  - dichiarazioni di Costanti
  - dichiarazioni di Tipi (Ii vedremo . . .)
  - dichiarazioni di Variabili (variabili globali)
  - prototipi di Procedure/Funzioni
- il programma principale (`main`)
- le definizioni di funzioni/procedure

Esempio

```
#include <stdio.h>        /* parte direttiva */
#define LUNG 10

int i = 1;               /* variabili globali */
int j = 2;

int Q(int);              /* prototipi di funzioni e procedure */
void R(float);

main()                  /* programma principale */
{
int x = 10;
float y = 3.4;
char c = 'a';
x = Q(x);
R(y);
}

int Q(int v) { ... }     /* definizioni di funzioni e procedure */
void R(float z) { ... }
```

Blocchi

- il corpo di una funzione/procedura, come il corpo del programma principale, è un blocco.
- In C un blocco è costituito da
  - una parte dichiarativa (può non esserci)
  - una parte esecutiva (sequenza di istruzioni)
- Nel `main` o nel corpo delle funzioni possono comparire diversi blocchi, che possono essere
  - annidati: un blocco è una delle istruzioni di un altro blocco
  - paralleli: blocchi che fanno parte della medesima sequenza di istruzioni

```
{
   int x;
   x = 10;
   {
     int z;
     z = 20 ;
     ...
   }
   ...
}
```

```
{
   int x;
   x = 10;
   ...
}
{
   int z;
   z = 20;
   ...
}
```

- Anche la parte esecutiva del programma principale e di una funzione/procedura è un blocco
- Gli identificatori dichiarati nella parte dichiarativa di un blocco sono detti nomi locali del blocco e devono essere tutti diversi tra loro
  - nel caso di una funzione/procedura, fanno parte dei nomi locali anche gli identificatori utilizzati per i parametri formali

Esempio:

```
{
int x;   /* NO! identificatore x dichiarato   */
char x;  /* due volte nello stesso blocco     */
...
}

void p(int x, char y)
{
int x;      /* NO! identificatore x gia' usato per un parametro formale */
...
}
```

- In blocchi diversi possono essere utilizzati gli stessi identificatori

Esempio:

```
main()
{
int x;     /* x, y: variabili locali del main */
int y;
...
   {
     char x;    /* x: variabile locale del blocco annidato */
     ...
   }
...
}

void p(int x)
{
int y;          /*x,y: variabili locali della procedura p  */
...
}
```

- Un programma C può avere una struttura molto complessa a seguito dell'uso di funzioni, procedure e blocchi.
- È necessario definire regole precise per regolamentare l'uso dei nomi utilizzati all'interno di un programma.
- A questo scopo introduciamo alcune definizioni utili.

  Ambiente globale: è l'insieme di tutti gli elementi (nomi) dichiarati nella parte dichiarativa globale del programma

  Ambiente locale di una funzione: è l'insieme di tutti gli elementi (nomi) dichiarati nella parte dichiarativa della funzione e nella sua intestazione

  Ambiente locale di un blocco: è l'insieme di tutti gli elementi (nomi) dichiarati nella parte dichiarativa del blocco
- Quanto detto informalmente in precedenza può essere meglio precisato:

  $\Longrightarrow$ è possibile dichiarare più volte lo stesso identificatore (anche con significati diversi) purché in ambienti diversi
- Se ciò evita il proliferare di identificatori, causa il problema di stabilire il significato di un riferimento ad un identificatore in un generico punto del programma

Esempio: Riprendiamo l'esempio precedente

```
main()
{
int x;     /* x, y: variabili locali del main */
int y;
...
   {
     char x;    /* x: variabile locale del blocco annidato */
     ...
   }
...
}

void p(int x)
{
int y;          /*x,y: variabili locali della procedura p  */
...
}
```

- Se in un punto del programma viene eseguita l'istruzione `x = ...`, a quale delle tre dichiarazioni di `x` ci si riferisce?
- Dipende dal punto in cui si trova tale assegnamento e dalle regole di visibilità (o regole di scoping).

Regole di visibilità

Gli identificatori presenti nell'ambiente

- globale sono visibili in tutte le funzioni e in tutti i blocchi del programma.
  N.B. Gli identificatori predefiniti del linguaggio si intendono parte dell'ambiente globale.
- locale di una funzione sono visibili nel corpo della funzione (ivi compresi eventuali blocchi in esso contenuti).
- locale di un blocco sono visibili nella parte esecutiva del blocco (ivi compresi eventuali blocchi in essa contenuti).

Se un identificatore è definito in più punti, la definizione valida è quella dell'ambiente più vicino al punto di utilzzo. In particolare, una variabile locale "nasconde" una eventuale variabile omonima definita nell'ambiente superiore (shadowing o oscuramento) per tutto il blocco.

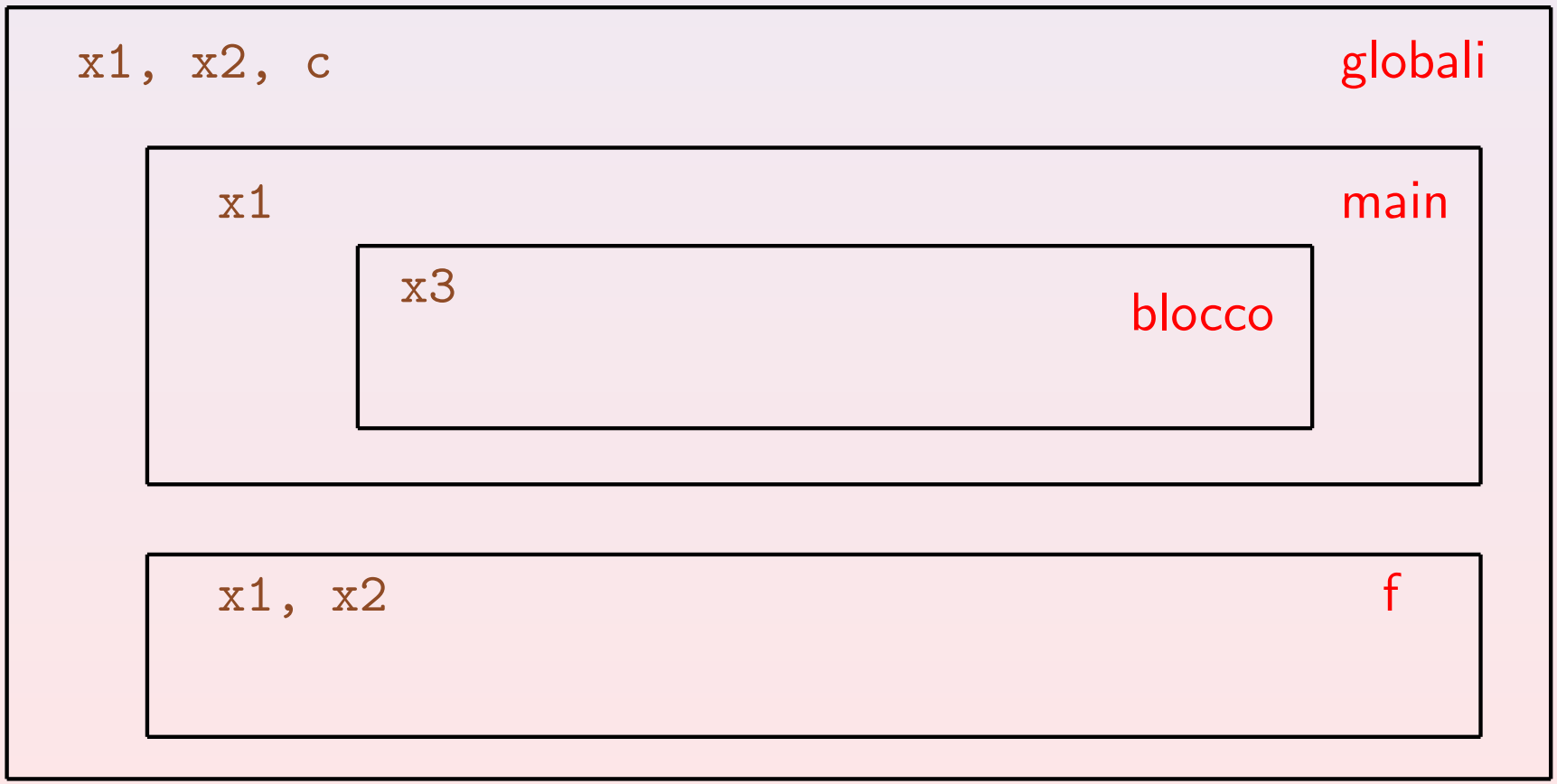
- Detto altrimenti, l'ambito di visibilità di un identificatore è determinato dalla posizione della sua dichiarazione:
  - gli identificatori dichiarati all'interno di un blocco hanno ambito di visibilità a livello di blocco
    $\Longrightarrow$ una variabile dichiarata in un blocco è visibile solo in quel blocco (compresi eventuali blocchi annidati)
  - gli identificatori dichiarati all'interno di una funzione (compresi quelli nell'intestazione) hanno ambito di visibilità a livello di funzione
    $\Longrightarrow$ una variabile dichiarata in una funzione è visibile solo nel corpo della funzione (compresi eventuali blocchi annidati)
  - gli identificatori dichiarati all'esterno delle funzioni e del main hanno ambito di visibilità a livello di programma
    $\Longrightarrow$ una variabile globale è visibile ovunque nel programma

Esempio:

```
int x1=10, x2=20;
char c='a';

int f(int);

main()
{
int x1=30;    /* nasconde la variabile globale x1 */
x2 = x1+x2;   /* x1 e' quella locale, x2 e' globale */
printf("x1=%d   x2=%d\n", x1, x2);   /* stampa x1=30  x2=50  */
  { int x3=50;
    x1=f(x3); /* x1 e' quella locale al primo blocco */
    printf("x1=%d   x2=%d\n", x1, x2);   /* stampa x1=150  x2=50 */
  }
}

int f(int x1)  /* nasconde la variabile globale x1 */
{ int x2;       /* nasconde la variabile globale x2 */
  x2 = x1 + 100;  /* x1 e' il parametro formale, x2 la var. locale */
  return x2;
}
```

Rappresentazione Grafica: Modello a contorni

- Si rappresenta ogni ambiente mediante un rettangolo con gli identificatori in esso contenuti.



Durata delle variabili

- Una variabile ha un suo tempo di vita.
  - viene creata (ovvero ad essa viene riservata uno spazio di memoria)
  - viene (o può essere) distrutta (ovvero viene rilasciato il corrispondente spazio di memoria).
- Si distinguono due classi di variabili:
  - variabili automatiche: vengono create ogni volta che si entra nel loro ambiente di visibilità e vengono distrutte all'uscita di tale ambiente
    - es. variabili locali di un blocco: vengono create all'ingresso del blocco, {, e distrutte all'uscita dal blocco, }.
    - es. variabili locali di una funzione: vengono create al momento della chiamata e distrutte all'uscita
  - variabili statiche: vengono create una sola volta e vengono distrutte solo al termine dell'esecuzione del programma (non ne faremo uso ...)

Durata delle variabili (cont.)

Nel caso di funzioni/blocchi eseguiti più volte (es. funzione chiamata in punti diversi, blocco all'interno di un ciclo):

- le variabili automatiche corrispondenti possono essere associate di volta in volta a locazioni di memoria diverse, quindi
- il loro valore non persiste tra una esecuzione e la successiva

Gestione della memoria a tempo di esecuzione (run-time)

- La memoria per
  - il codice macchina è fissata a tempo di compilazione
  - i dati (in particolare per le variabili automatiche) cresce e decresce dinamicamente durante l'esecuzione: viene gestita a pila
- Ricordiamo che una pila (o stack) è una struttura dati con accesso LIFO: Last In First Out (ultimo entrato, primo servito), come ad es. la pila di piatti da lavare o di pratiche da svolgere.

Pila dei record di attivazione

- Il sistema gestisce in memoria la pila dei record di attivazione (RDA)
  - per ogni chiamata di funzione viene creato (e allocato) un nuovo RDA in cima alla pila
  - al termine della chiamata della funzione il RDA viene rimosso dalla pila
- Ogni RDA contiene:
  - le locazioni di memoria per i parametri formali (se presenti)
  - le locazioni di memoria per le variabili locali (se presenti)
  - altre informazioni che non analizziamo
- Anche gli ambienti locali dei blocchi vengono allocati/deallocati sulla pila.

Pila dei record di attivazione: come funzionano

- Il primo record di attivazione (RDA) è per il `main()`
- Ad ogni attivazione viene allocato un RDA
- Al termine dell'attivazione il record viene rilasciato (liberando la memoria che occupava)
- La dimensione dell'RDA è nota in fase di compilazione
- Il numero di attivazioni della funzione non è noto

Esempio:

```
int f(int);
main()
{
  int x, y, z;
  x=10;
  y=20;          /* blocco principale */                          PUNTO 1
  z = f(x);      /* prima chiamata di f */                        PUNTO 2
    {
    int x=50;    /* uscita da f e ingresso nel blocco annidato*/  PUNTO 3
    y=f(x);      /* seconda chiamata di f */                      PUNTO 4
    z=y;         /* uscita da f */                                PUNTO 5
    }
  ...            /* uscita dal blocco */                          PUNTO 6
}
int f(int a)
{
  int z;
  z = a + 1;
  return z;
}
```

Evoluzione della pila

x	10
y	20
z	?

▸ PUNTO 1

Evoluzione della pila

a	10
z	?

x	10
y	20
z	?

▸ PUNTO 2

Evoluzione della pila

x	50

x	10
y	20
z	11

▸ PUNTO 3

Evoluzione della pila

a	50
z	?

x	50

x	10
y	20
z	11

▸ PUNTO 4

Evoluzione della pila

x	50

x	10
y	51
z	11

▸ PUNTO 5

Evoluzione della pila

x	10
y	51
z	51

▸ PUNTO 6

Variabili statiche: un esempio d'uso

- Una variabile statica, una volta creata, rimane in vita per tutto il tempo di esecuzione del programma.
  Esempio: `f(void) { static int x; ... }`
  - la variabile viene inizializzata alla prima attivazione della funzione
  - conserva il suo valore tra attivazioni successive
  - è locale, quindi visibile solo all'interno della funzione in cui è dichiarata

  Esempio: Funzione che restituisce il numero di volte che è stata attivata.

```
int fun1(void) {
   static int conta = 0;
       /* variabile locale statica visibile solo in fun1;
          contatore del numero di attivazioni di fun1    */
   .....
   conta++;
   return conta;
   }
```