

Uso avanzato dei puntatori

Matteo Spanio

Giulio Pitteri

3 aprile 2025

In questa lezione si presenta il modo in C di definire strutture dati complesse e di manipolarle attraverso i puntatori. Nel dettaglio vengono presentate strutture, unioni e enumerazioni. Si introduce l'utilizzo di queste strutture negli array e altre strutture dati complesse. Si introduce inoltre in maniera non formale l'algoritmo di ordinamento bubble sort.

Strutture, Unioni ed Enumerazioni

Il C non permette di definire Classi e oggetti, si possono comunque definire dei tipi aggiuntivi:

- Strutture: insieme di dati
- Unioni: alternative tra tipi diversi
- Enumerazioni: insieme di costanti

struct

Una struttura è un insieme di dati, si differenzia dagli array perché:

- gli elementi possono essere di tipo diverso;
- gli elementi sono identificati da un nome;

Di seguito un esempio di dichiarazione di una struttura:

```
struct studente {  
    char nome[20];  
    char cognome[20];  
    int matricola;  
};
```

Come si può vedere dall'esempio, la dichiarazione di una struttura è introdotta dalla parola chiave `struct`, seguita dal nome della struttura e da una lista di dichiarazioni di variabili. Ricorda fortemente la dichiarazione di una classe in Java, in questo caso però non ci sono metodi, e i dati non si chiamano campi o attributi, ma membri. I membri hanno un nome e un tipo, possono essere di qualsiasi tipo, anche un'altra struttura. La grossa differenza con Java è che i membri sono sempre pubblici e non c'è modo di dichiararli privati.

Inizializzazione

Si possono inizializzare le strutture quando vengono dichiarate:

```
struct studente s = {"Mario", "Rossi", 12345};
```

Si possono inizializzare meno elementi rispetto a quelli dichiarati, in questo caso gli elementi non inizializzati vengono impostati a 0 (nel caso delle stringhe l'inizializzazione a zero equivale a dire stringa vuota "").

Avviso

Il tipo di una variabile `struct` è `struct nome_struct`, omettere la parola `struct` è un errore.

Un modo alternativo di inizializzare una struttura è quello di specificare il nome dei membri:

```
struct studente s = {  
    .nome = "Mario",  
    .cognome = "Rossi",  
    .matricola = 12345,  
};
```

In questa modalità l'ordine degli elementi non è importante, ma è necessario specificare il nome di tutti i membri. Questo metodo è molto utile quando si hanno strutture con molti membri e si vuole inizializzare solo alcuni di essi.

Accedere agli elementi

Per accedere ai singoli membri di una struttura si usa l'operatore `.` (punto) dopo il nome della variabile:

```
struct studente s = {"Mario", "Rossi", 12345};  
  
printf("Nome: %s\n", s.nome);  
printf("Cognome: %s\n", s.cognome);  
s.matricola = 54321;
```

Copie di strutture

Si può copiare interamente una struttura usando una variabile dello stesso tipo:

```
struct studente a, b = {"Matteo", "Spanio", 56789};  
a = b;
```

In questo caso si può notare una delle principali differenze con gli array:

```
int a[] = {1, 2, 3, 4, 5}; ①  
int *b; ②  
b = a; ③
```

- ① `a` è un array di interi;
- ② `b` è un puntatore a intero;
- ③ `b = a` non è una copia dell'array `a` ma assegna a `b` l'indirizzo di `a`, pertanto qualsiasi modifica dei dati di `a` si riflette anche in `b` (e viceversa). Cioè `a` e `b` puntano alla stessa area di memoria.

Utilizzando le strutture invece, la copia è effettiva:

```
struct array {  
    int dati[5];  
};  
struct array a = {{1, 2, 3, 4, 5}}; ①  
struct array b; ②  
b = a; ③
```

- ① `a` inizializzo `a` con un array di interi;
- ② `b` dichiaro `b` come struttura;
- ③ `b = a` copio `a` in `b`, vengono effettivamente copiati i dati dell'array `a.dati` in `b.dati`. Cioè `a` e `b` si trovano in aree di memoria diverse.

! Importante

Solo l'operatore `=` è valido tra 2 struct, gli operatori `==` e `!=` NON si possono usare per vedere se due strutture sono uguali.

Dare i nomi alle strutture

Le strutture possono avere un nome, gli si può associare un tipo, oppure possono essere anonime.

Le strutture col nome, detto *structure tag*, si dichiarano come abbiamo già visto:

```
struct nome {  
    type member_name;  
};
```

Strutture anonime

Nel caso in cui un si voglia usare una struct solo in un punto specifico del codice non è necessario associarvi un nome, si può dichiarare e associare direttamente:

```
struct { int x; int y; } punto;  
punto.x = 12;  
punto.y = 18;
```

Così facendo la struttura non ha un nome e non può essere riutilizzata facilmente, ogni volta che si vuole dichiarare una variabile di quel tipo bisogna riscrivere la struttura.

Strutture con typedef

`typedef` è un operatore che permette di definire alias per i tipi:

```
typedef int Bool;  
typedef float Euro;  
typedef char* String;
```

Queste dichiarazioni permettono scrivere codice più chiaro.

Lo stesso effetto si può ottenere dichiarando delle macro:

```
#define BOOL int  
#define EURO float  
#define STRING char*
```

In generale si preferisce usare `typedef` perché è più chiaro e il compilatore può fare dei controlli sui tipi.

Dal momento che le strutture sono usate moltissimo e i programmatori sono pigri, solitamente, si preferisce omettere la parola chiave `struct` per riferirsi al tipo delle strutture grazie a `typedef`:

```
typedef struct {
    int x;
    int y;
} Point;
Point punto = {
    .x = 1,
    .y = 2,
};
```

In questo modo si può dichiarare una variabile di tipo `Point` senza usare la parola chiave `struct`.

Cast a strutture

Una volta definito il tipo con `typedef`, si può popolare una struttura con la stessa sintassi dell'inizializzazione, occorre fare un cast esplicito però:

```
typedef struct {
    int x;
    int y;
} Point;

Point s;
s = (Point) { .x = 1, .y = 2 };
```

A prescindere da quale metodo di definizione si scelga, le strutture possono essere argomenti di funzioni e restituite da funzioni:

```
#include <math.h>
typedef struct point {
    int x;
    int y;
} Point;

Point somma(Point a, struct point b) {
    return (Point) { .x = a.x + b.x, .y = a.y + b.y };
}

float distanza(Point a, Point b) {
    return sqrt(pow(a.x - b.x, 2) + pow(a.y - b.y, 2));
}
```

struct e puntatori

Si possono creare puntatori a strutture (come per qualsiasi altro tipo di dato):

```
struct point *p;  
Point *p1;  
  
void foo(Point* p);
```

Array di struct

Si possono creare array di strutture:

```
Point punti[10];  
punti[0].x = 1;
```

Si può inserire un array in una struttura:

```
struct libretto {  
    int voti[10];  
    int num_voti;  
};
```

Si può inserire una struttura in un'altra struttura:

```
struct data {  
    int giorno;  
    int mese;  
    int anno;  
};  
  
struct persona {  
    char nome[20];  
    char cognome[20];  
    struct data data_nascita;  
};
```

si possono anche innestare struct anonime:

```
struct {  
    char nome[20];  
    char cognome[20];  
    struct {
```

```

        int giorno;
        int mese;
        int anno;
    } data_nascita;
} persona;

```

Si possono inserire unioni¹ in una struttura:

```

struct {
    char nome[20];
    char cognome[20];
    union {
        int matricola;
        char codice_fiscale[16];
    } id;
} persona;

```

Si può inserire strutture in unioni:

```

union {
    struct {
        int giorno;
        int mese;
        int anno;
    } data;
    int intero;
} u;

```

Esempio: Mondiali 1982

Vediamo ora un esempio di programma basato sulle strutture.

Si vuole creare un sistema informatico per la gestione squadra della nazionale Italiana di calcio che giocò ai [mondiali del 1982](#):

1. implementare una struttura dati per memorizzare i dati di un giocatore di calcio;
2. memorizzare l'elenco dei giocatori della squadra;
3. ordinare i giocatori in base numero di maglia.

Un giocatore è identificabile da nome, cognome e numero di maglia (chiaramente si potrebbero aggiungere molti altri dati, come la data di nascita, il ruolo, ecc.). Si può quindi definire una struttura **Giocatore** che contenga questi dati:

¹Si veda la sezione seguente per informazioni dettagliate sulle unioni.

```
#define BUFFER_SIZE 128 // dimensione massima di un buffer
typedef struct giocatore
{
    char nome[BUFFER_SIZE];
    char cognome[BUFFER_SIZE];
    unsigned int numero_maglia; // non esistono numeri di maglia negativi
} Giocatore;
```

Il codice sopra riportato definisce la struttura `struct giocatore` e vi associa il nuovo tipo `Giocatore`. La struttura contiene tre membri: `nome`, `cognome` e `numero_maglia`, in quanto stringhe, il nome e cognome sono di tipo `char[]`, mentre il numero di maglia è un intero senza segno. Si noti che gli array vengono dichiarati con una dimensione massima `BUFFER_SIZE`, ciò vuol dire che il nome e il cognome possono avere una lunghezza massima di `BUFFER_SIZE - 1` caratteri, purtroppo C non controlla che questa condizione sia rispettata. In altre parole, all'interno del programma posso inizializzare una struttura `Giocatore` con un nome o cognome più lungo di `BUFFER_SIZE - 1` caratteri, ma il comportamento del programma in questo caso è indefinito. Questo è uno dei più grandi problemi di C.

Memorizzare la lista dei giocatori

La struct `Giocatore` è di fatto un tipo di dato, possiamo quindi creare un array di giocatori dove memorizzare la formazione:

```
#define NUM 22
Giocatore squadra[NUM];
```

La squadra è composta da 22 giocatori (11 titolari, 5 in panchina e 6 riserve). Questa dichiarazione crea un array di 22 elementi di tipo `Giocatore` e lo assegna alla variabile `squadra`. Quando si dichiara un array di strutture, si può accedere ai membri di ciascuna struttura usando la notazione `.` (punto):

```
squadra[0].numero_maglia = 1;
```

Questo perchè `squadra[0]` è una struttura di tipo `Giocatore` e `numero_maglia` è un membro di questa struttura, quando invece si ha un puntatore a una struttura, si usa l'operatore `->` (freccia):

```
Giocatore *p = &squadra[0];
p->numero_maglia = 1;
```

L'operatore `->` è una comodità sintattica, infatti `p->numero_maglia` è equivalente a `(*p).numero_maglia`.

Ordinare i giocatori

Per ordinare i giocatori in base al numero di maglia, bisogna introdurre un algoritmo di ordinamento:

Il più intuitivo (ma non il più efficiente) è il [Bubble Sort](#), di seguito una descrizione dell'algoritmo in pseudocodice:

```
Repeat n-1 times
  For i from 0 to n-2
    If numbers[i] and numbers[i+1] out of order
      Swap them
  If no swaps
    Quit
```

L'idea è quella di scorrere l'array di numeri e scambiare i numeri adiacenti se non sono in ordine. Questo processo viene ripetuto finché non si è completato un passaggio senza scambi. Questo algoritmo è molto inefficiente, ma è molto semplice da implementare. La complessità computazionale del Bubble Sort è $O(n^2)$.

L'implementazione dello pseudocodice è molto semplice, infatti si tratta di due cicli annidati e uno scambio di due elementi:

1. Si scorre l'array `squadra` `NUM - 1` volte;
2. Si scorre l'array `squadra` da 0 a `NUM - 2`;
3. Si controlla se `squadra[i]` e `squadra[i + 1]` sono fuori ordine, in tal caso **si scambiano**. La funzione `swap` l'abbiamo già vista nella [lezione sui puntatori](#).

```
void bubble_sort(Giocatore *squadra, size_t n)
{
    for (size_t i = 0; i < n - 1; i++)
    {
        for (size_t j = 0; j < n - 2; j++)
        {
            if (squadra[j].numero_maglia > squadra[j + 1].numero_maglia)
            {
                swap(&squadra[j], &squadra[j + 1], sizeof(Giocatore));
            }
        }
    }
}
```

Per ottimizzare il codice, si può usare un flag per controllare se durante un passaggio non si è effettuato alcuno scambio, in tal caso si può uscire dal ciclo:

```

void bubble_sort(Giocatore *squadra, size_t n)
{
    for (size_t i = 0; i < n - 1; i++)
    {
        int scambiato = 0;
        for (size_t j = 0; j < n - 2; j++)
        {
            if (squadra[j].numero_maglia > squadra[j + 1].numero_maglia)
            {
                swap(&squadra[j], &squadra[j + 1], sizeof(Giocatore));
                scambiato = 1;
            }
        }
        if (!scambiato)
        {
            break;
        }
    }
}

```

Se stai consultando questa guida in formato HTML, puoi scaricare una versione completa del codice sorgente cliccando sul pulsante qui sotto, altrimenti puoi scaricarlo collegandoti a [questo link](#).

Unioni

Le unioni sono simili alle strutture, nel senso che permettono di usare membri di tipo diverso, la differenza sta nel fatto che una struttura tiene tutti i membri in memoria, mentre una union tiene solo un membro alla volta:

```

union {
    int i;
    double d;
} u;

struct {
    int i;
    double d;
} s;

```

In questo caso `u` occupa in memoria lo spazio necessario per la variabile più grande, in questo caso `double` (8 byte), mentre `s` occupa lo spazio necessario per entrambi i membri (4 + 8 byte).

Si può inizializzare solo un elemento di una union:

```
union {
    int i;
    double d;
} u = { .i = 3 };
```

Si presti molta attenzione a non leggere mai un membro di una union che non è stato inizializzato, il comportamento del programma in questo caso è indefinito.

Come per le strutture, posso dare nomi alle unioni tramite tag oppure con typedef.

Enumerazioni

In molti programmi si usano interi come “*codici*” per indicare varie cose. Un caso comune sono per esempio i codici di errore.

Spesso si usano macro o costanti, ma è più chiaro usare enumerazioni:

```
enum {
    CUORI,
    QUADRI,
    FIORI,
    PICCHE
} s1, s2;
```

Ora le variabili `s1` e `s2` possono assumere solo uno dei quattro valori definiti.

Un esempio molto comune è la definizione del tipo booleano:

```
typedef enum {
    FALSE,
    TRUE
} Bool;
```

In questo modo si può usare `Bool` come tipo di variabile, e assegnare solo i valori `FALSE` e `TRUE`. Solitamente gli elementi di un’enumerazione sono scritti in maiuscolo, per distinguerli dalle variabili. In questo caso `FALSE` e `TRUE` sono costanti, `FALSE` ha valore 0 e `TRUE` ha valore 1.

Di default C assegna dei valori interi crescenti agli elementi dell’enumerazione, ma si possono assegnare valori specifici:

```
enum {
    LUN = 1,
    MAR = 2,
    MER = 3,
    GIO = 4,
    VEN = 5,
    SAB = 6,
    DOM = 7
} giorno;
```

Se non si assegna un valore, C assegna il valore dell'elemento precedente più uno.

Esercizio

Si vuole implementare il sistema informatico in C per rappresentare una squadra pokemon e ordinare la squadra per i nomi dei pokemon in ordine alfabetico.

Se stai consultando questa guida in formato HTML, puoi scaricare il codice sorgente da modificare cliccando sul pulsante qui sotto, altrimenti puoi scaricarlo collegandoti a [questo link](#).

Strutture dati

Le strutture sono molto utili per definire strutture dati. Per esempio si possono definire array dinamici, liste concatenate, alberi, pile, code...

Array con strutture

Gli array in C sono molto limitati, infatti dobbiamo gestire la loro lunghezza *a mano*, per questo è una pratica comune creare una struttura che contenga un array e la sua lunghezza:

```
#define MAX 1024

typedef struct intarray {
    int array[MAX];
    int length;
} IntArray;
```

Questa struttura dati si comporta come segue: **array** è un array con una dimensione massima di MAX elementi, **length** è il numero di elementi effettivamente presenti nell'array, ciò vuol dire che **length** è sempre minore o uguale a MAX. Di seguito un esempio di utilizzo:

```
IntArray a = {.length=0}; ①
a.array[a.length++] = 1; ②
printf("%d, %d\n", a.array[0], a.length); ③
```

- ① Inizializzo la struttura **a** con **length=0**, non c'è bisogno di inizializzare l'array perchè si presuppone che prima di accedere all'array si verifichi sempre fino a che indice è valido l'array tramite **length**;
- ② Inizializzo il primo elemento dell'array con il valore 1 e incremento **length**, si noti che l'espressione **a.length++** restituisce il valore di **a.length** prima dell'incremento;
- ③ Stampo il primo elemento dell'array e la lunghezza dell'array.

Adesso si può passare la struttura come argomento di una funzione:

```
void stampa_array(IntArray a) { ①
    for (int i = 0; i < a.length; i++) { ②
        printf("%d ", a.array[i]);
    }
    printf("\n");
}
```

- ① Si nota subito che non abbiamo più bisogno di passare la lunghezza dell'array come argomento.
- ② Si può usare **a.length** per scorrere l'array, pertanto se la dimensione è 0 il ciclo non viene eseguito, ecco perchè non c'è bisogno di inizializzare i valori dell'array se **length** è 0.

Se stai consultando questa guida in formato HTML, puoi scaricare un esempio di codice sorgente in cui si utilizza questa struttura dati cliccando sul pulsante qui sotto, altrimenti puoi scaricarlo collegandoti a [questo link](#).