Puntatori

Matteo Spanio

9 aprile 2024

In questo capitolo vengono introdotti i puntatori, un concetto fondamentale per la programmazione in C. Si descrive cosa siano, la loro sintassi e i principali utilizzi: l'indirizzamento di variabili, l'accesso a variabili tramite puntatore, cosa abbiamo in comune con gli array e le stringhe e come vengono passati ai parametri di funzione.

Il termine *puntatore* produce sempre un po' di confusione tra i principianti del C, in realtà, una volta capito il concetto, si tratta di una feature molto potente e utile del linguaggio. Non sono effettivamente complicati, ma è facile fare confusione, spero che questa guida possa aiutare a chiarire le idee…

Quando si dichiara una variabile si comunica al compilatore il suo tipo e il suo nome prima del suo utilizzo, questo è fondamentale perché la dichiarazione permette al compilatore di allocare un blocco di memoria per immagazzinare la variabile. Quindi:

> Ad ogni variabile (e non solo) è associato un indirizzo di memoria. Questo indirizzo è un numero che identifica la posizione della variabile in memoria.

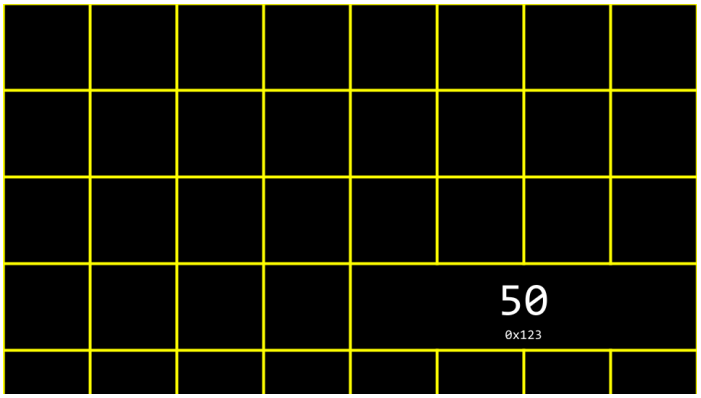


Figura 1: Rappresentazione in memoria di una variabile.

Cos'è un puntatore?

> Un **puntatore** è una variabile che contiene l'informazione per accedere ad un'altra variabile, ossia il suo **indirizzo**.

Quindi un puntatore è semplicemente un indirizzo di memoria contenente una variabile.

Se si dichiara una variabile e un puntatore ad essa si può accedere alla variabile in due modi:

1. Utilizzando la variabile stessa
2. Utilizzando il puntatore

Un esempio potrebbe essere:

```c
#include <stdio.h>

int main(void)
{
    int a;
    int *ptr_to_a;                                          ①

    ptr_to_a = &a;                                          ②

    a = 5;
    printf("The value of a is %d\n", a);

    *ptr_to_a = 6;                                          ③
    printf("The value of a is %d\n", a);
    printf("The value of ptr_to_a is %p\n", ptr_to_a);
    printf("It stores the value %d\n", *ptr_to_a);
    printf("The address of a is %p\n", &a);
}
```

① Indica la dichiarazione di un puntatore a un intero, il carattere `*` è usato per indicare che `ptr_to_a` è un puntatore, il tipo di variabile a cui punta è indicato prima del `*`.

② In C il simbolo `&` prima di un nome di variabile è usato per ottenere l'indirizzo di memoria di quella variabile e, come detto prima, un puntatore è un indirizzo di memoria. Quindi `ptr_to_a` contiene l'indirizzo di `a`.

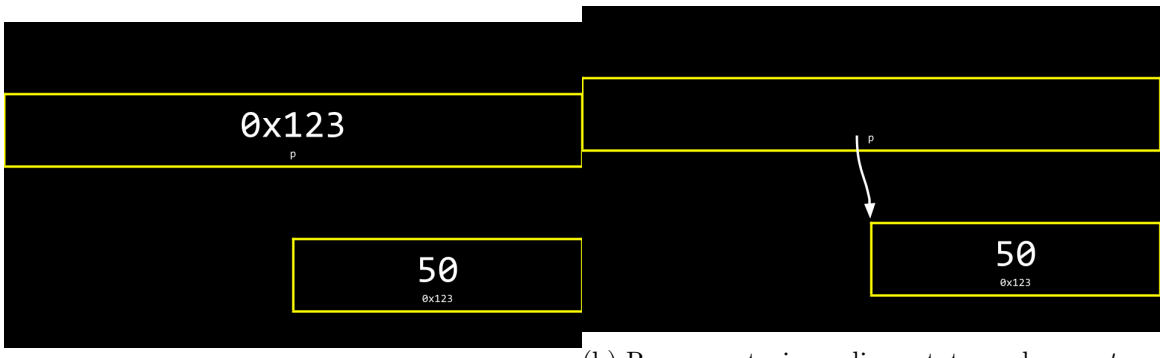
③ Dopo che ad `a` è stato assegnato il valore 5, viene usato ancora il simbolo `*`, questa volta però ha un significato diverso: una volta che il puntatore è dichiarato, il simbolo `*` è usato per accedere al valore della variabile a cui il puntatore punta. Quindi `*ptr_to_a` è il valore di `a`. È un modo alternativo per impostare il valore di `a` a 6.

> **Consiglio**
>
> Un sistema un po' stravagante ma efficace per imparare il significato degli operatori `*` e `&` nel contesto dei puntatori è pensare a `*` come "*valore puntato da*" e `&` come "*indirizzo di*". Una volta imparato questo, il resto è molto più semplice.

Si prenda in considerazione il seguente listato:

```c
#include <stdio.h>
int main(void)
{
    int n = 50;
    int *p = &n;
    printf("%d\n", p); // stampa l'indirizzo di n
    printf("%d\n", *p); // stampa il valore di n
}
```

Come prima, viene dichiarata la variabile `n` e subito dopo si dichiara un puntatore `p` che punta a `n`. L'immagine Figura 2a aiuta a visualizzare la situazione in memoria, mentre l'immagine Figura 2b spiega graficamente il concetto di un puntatore che *punta a* una variabile, spesso si indica graficamente con una freccia che parte dal puntatore e punta alla variabile.



(a) Rappresentazione della memoria per il listato.

(b) Rappresentazione di puntatore che *punta a* una variabile.

Figura 2: Visualizzazione dello stato della memoria con i puntatori.

> **Attenzione**
>
> Applicare l'operatore `*` ad un puntatore non inizializzato è un errore:
>
> ```c
> int *p;
> printf("%d\n", *p); // errore!
> ```
>
> Assegnare un valore a un puntatore non inizializzato è un errore:

```c
int *p; // p non è inizializzato
*p = 5; // errore!
```

Dichiarazione di un puntatore

I puntatori si possono dichiarare insieme ad altre variabili e possono essere di qualsiasi tipo:

```c
int *p, x, *y, a[10];
float *f;
char *c;
```

In questo caso `p` e `y` sono puntatori a interi, `x` è un intero e `a` è un array di 10 interi. Si noti che il carattere `*`, seppure faccia parte del tipo della variabile, è posto vicino al nome della variabile, questo per evitare di creare confusione proprio in una dichiarazione multipla come nella riga di codice sopra. Lo stesso codice si sarebbe potuto scrivere:

```c
int* p, x, *y, a[10];
float* f;
char* c;
```

Il secondo esempio crea maggiore confusione alla maggior parte delle persone, quindi è meglio evitare di dichiarare variabili in questo modo.

Esempio di utilizzo

Spesso un esempio chiarisce meglio il concetto, di seguito si introducono due esempi per chiarire il concetto di puntatore, e la sintassi

```c
int i, j, *p;          ①
i = 5;                 ②
p = &i;                ③
j = *p;                ④
printf("%d\n", j); // stampa 5   ⑤
```

① Si dichiarano tre variabili: `i`, `j` e `p`, `p` è un puntatore a un intero.
② Si assegna il valore 5 a `i`.
③ Si assegna l'indirizzo di `i` a `p`, l'operatore `&` è usato per ottenere l'indirizzo di `i`.
④ Si assegna il valore puntato da `p` a `j`, l'operatore `*` è usato per accedere al valore puntato da `p`.
⑤ Si stampa il valore di `j`, che è 5.

```c
// esempio 2
int *p, *q, i;
p = &i;
*p = 6;
q = p;
(*q)++;
printf("%d\n", i); // stampa 7
```

Il secondo esempio è un po' più complesso, ma il concetto è lo stesso. Si dichiarano due puntatori `p` e `q` e una variabile `i`. Si assegna l'indirizzo di `i` a `p`, si assegna il valore 6 a `i` tramite `*p`, si assegna `p` a `q` e si incrementa il valore puntato da `q` di 1. L'espressione `(*q)++` è equivalente a `*q = *q + 1`, servono le parentesi perché l'operatore `++` ha una precedenza maggiore rispetto all'operatore `*`.

Puntatori come parametri di funzioni

In C non è possibile restituire più di un valore da una funzione.

```c
void incrementa(int a, int b) {
    a++;
    b++;
    // alla fine della funzione i valori di a e b vengono persi
}
```

I puntatori permettono di aggirare questa limitazione. Possono essere passati come argomenti di funzioni:

```c
void incrementa(int *a, int *b) {
    *a = *a + 1;
    *b = *b + 1;
}
```

Ci si basa unicamente sui side effects, è possibile quindi restituire più di un valore.

La chiamata di funzione avviene così:

```c
int i = 1;
int j = 10;
incrementa(&i, &j);
printf("%d\n", i); // stampa 2
printf("%d\n", j); // stampa 11
```

Abbiamo già visto questa sintassi con `scanf`.

Esempio di utilizzo di puntatori con funzioni

Scrivere una funzione che scambi il valore di due variabili.

Il prototipo della funzione è: `void swap(int *a, int *b);`

Verrebbe spontaneo risolvere il problema senza usare i puntatori:

```
void swap(int a, int b) {
    int temp = a;                                                    ①
    a = b;                                                           ②
    b = temp;                                                        ③
    printf("a = %d, b = %d\n", a, b);
}
```

① Si salva il valore di `a` in una variabile temporanea.
② Si assegna il valore di `b` a `a`.
③ Si assegna il valore salvato in precedenza a `b`.

All'ultima riga il codice effettivamente ha scambiato i valori di a e b, ma si tratta di variabili locali alla funzione, quindi i valori di `a` e `b` all'esterno della funzione non sono stati modificati. Per rendere la modifica permanente si devono usare i puntatori:

```
void swap(int *a, int *b) {
    int temp = *a;
    *a = *b;
    *b = temp;
    printf("a = %d, b = %d\n", *a, *b);
}
```

La soluzione è identica alla precedente, ma questa volta i valori di `a` e `b` vengono modificati direttamente, ciò vuol dire che i valori di `a` e `b` all'esterno della funzione saranno modificati.

Puntatori e array

In realtà, in C, un array è un puntatore al primo elemento dell'array.

```
int a[10];
```

`a` è un puntatore al primo elemento dell'array, quindi è possibile scrivere `*a` per accedere al primo elemento dell'array.

L'operatore `[]` permette di scorrere la memoria a partire dal primo elemento dell'array.

Gli array possono quindi essere trattati come puntatori:

```c
int a[10], *p;
p = a;
```

`p` punta al primo elemento dell'array.

> **Attenzione**
>
> In generale, in C, si possono trattare gli array come puntatori, ma non si può trattare un puntatore come un array (o almeno non sempre). Gli array sono costanti, mentre i puntatori no.

Gli elementi dell'array si trovano in posizioni di memoria contigue. Nella pratica, si usa `a[0]`, ma è solo uno zucchero sintattico per `*(a + 0)`, in cui `0` è l'offset rispetto al primo elemento dell'array. `*(a + 1)` è il secondo elemento dell'array, `*(a + 2)` è il terzo elemento e così via.

Quindi l'operazione `p + 1` punta al secondo elemento dell'array.

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

p + 1; // è l'indirizzo del secondo elemento dell'array
p + 2; // è l'indirizzo del terzo elemento dell'array
// per accedere al valore si usa *p
*(p + 1); // è il valore del secondo elemento dell'array
p[1]; // è il valore del secondo elemento dell'array
```

> **Nota**
>
> C capisce da solo che `p` è un puntatore ad un array di interi, quindi `p + 1` punta al secondo elemento dell'array che si trova dopo un salto di 4 byte (la dimensione di un intero).

```c
int a[10], *p;
p = a;
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    *(p + i) = i;
    // oppure
    // p[i] = i;
}
```

La sintassi `p[i]` è uno zucchero sintattico per `*(p + i)`.

Esercizio

Scrivere una funzione che trovi il minimo e il massimo in un array di interi.

Il prototipo della funzione è: `void minmax(const int *a, int n, int *min, int *max);`

Puntatori di puntatori

Un puntatore può puntare ad un altro puntatore.

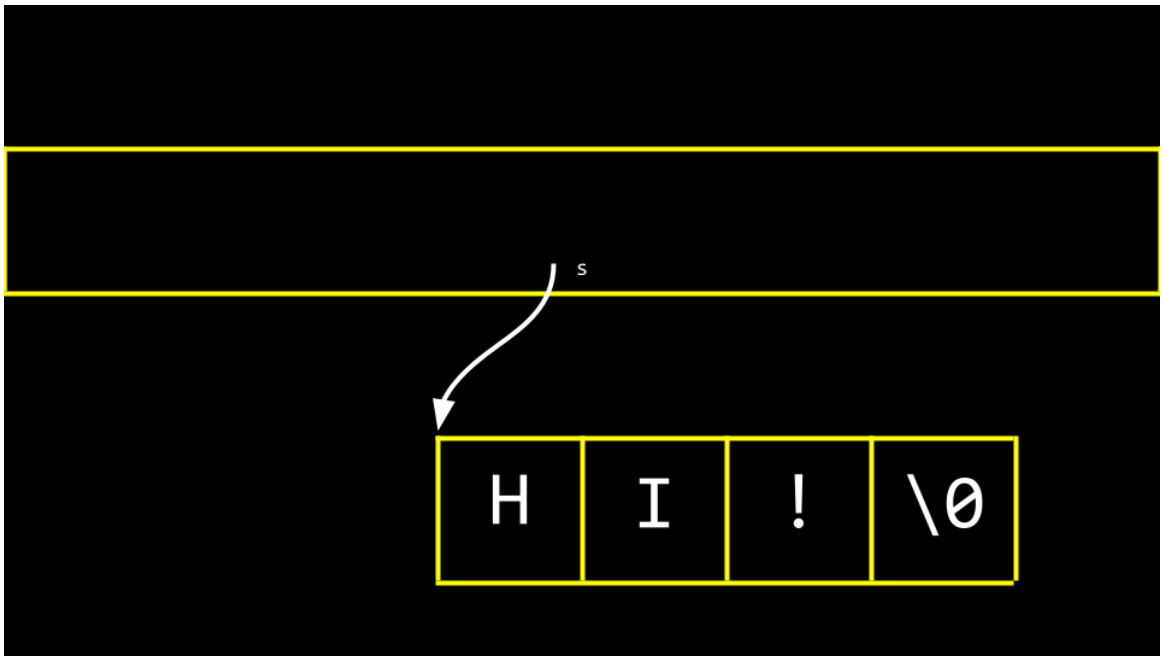
```c
int i = 5;
int *p = &i;
int **q = &p;
```

Può sembrare strano, ma è una pratica molto comune.

Le stringhe in C sono array di caratteri terminati da un carattere nullo.

```c
char s[] = "Hi!";
// char *s = "Hi!";
```

`s` è un puntatore al primo carattere della stringa.



Il caso più comune di puntatore a puntatore è quello delle stringhe.

Quando si deve memorizzare un array di stringhe si usa un array di puntatori a caratteri.

```c
int main(int argc, char **argv) {
    // argv è un array di puntatori a caratteri
}
// oppure
int main(int argc, char *argv[]) {
    // argv è un array di puntatori a caratteri
}
```