

Puntatori

Corso di Programmazione di Sistema

Dr. Nicola Biccocchi

DIEF/UNIMORE

Aprile 2023

Puntatori a void

- La parola chiave **void** può essere usata per dichiarare dei puntatori che non puntano a nessun tipo di dato in particolare
- E' sempre consentito l'assegnamento di un puntatore a **void** a qualunque altro tipo di puntatore. Lo è pure l'assegnamento di qualunque puntatore ad un puntatore a **void**
- L'assegnamento tra puntatori di tipi diversi da void causa invece la generazione di un messaggio di warning

```
1 void *ptr;  
2 int *i;  
3 float *f;  
4  
5 i = ptr;  
6 ptr = i;  
7  
8 /* Incompatible pointer types assigning to 'int *' from 'float *' */  
9 i = f;
```

Puntatori a void

```
1 void stampa_bit(void *ptr) {
2     int i;
3     printf("%p ", ptr);
4     for (i = 31; i >= 0; i--) {
5         printf("%d", (*ptr) >> i) & 0x01);
6     }
7     printf("\n");
8 }
9
10 int main(void) {
11     int a = 100;
12     float b = 100.0F;
13     stampa_bit((void *)&a);
14     stampa_bit((void *)&b);
15 }
```

```
1 0x7fffee58cc8dc 000000000000000000000000000000001100100
2 0x7fffee58cc8d8 010000101100100000000000000000000000
```

Aritmetica dei puntatori

- Ai puntatori possono essere sommati e sottratti numeri interi. Il risultato della somma di un puntatore e di un numero intero è l'indirizzo dell'elemento n-esimo del vettore.
- Il valore numerico del puntatore (indirizzo in memoria espresso in byte) viene incrementato/decrementato della dimensione di un oggetto puntato (`sizeof(*p)`)

```
1  int main(void) {
2      int i, v[] = {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9};
3      int *p = v;
4
5      for (i = 0; i < 10; i++) {
6          printf("[%d] %d %d %d\n", i, v[i], *(v + i), *(p + i));
7      }
8
9      for (i = 0; i < 10; i++, p++) {
10         printf("[%d] %d %d %d\n", i, v[i], *(v + i), *p);
11     }
12 }
```

Aritmetica dei puntatori

- Il puntatore p è utilizzato per scorrere il vettore (inizializzato all'indirizzo del primo elemento)
- Il ciclo termina quando il valore puntato $*p$, è nullo (il valore 0 equivale alla condizione logica *false*)
- L'unico valore di v con valore zero deve essere ultimo, altrimenti il puntatore assumerà valori non validi andando ad accedere oltre la fine del vettore oppure il ciclo terminerà in modo prematuro
- Approccio seguito nella gestione delle stringhe ma **non adatto** a vettori numerici

```
1 char string[] = "hello world!";
2 char *p;
3
4 // prints "hello world!" letter by letter
5 for (p = string; *p; p++) {
6     printf("%c", *p);
7 }
```

Aritmetica dei puntatori

- E' possibile fare la differenza (ma non la somma!) tra puntatori dello stesso tipo
- Il risultato della differenza fra puntatori è un numero intero che rappresenta **il numero di elementi** (non di bytes!) che separano i due puntatori
- La dimensione di un singolo elemento è quella definita dal tipo di dato puntato

```
1  int main(void) {
2      int *p, *q, v[] = {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9};
3
4      p = &v[0];  /* equivalente a p = v */
5
6      q = p + 2;
7      printf("%ld\n", q - p);      /* Output: 2 */
8      printf("%d %d\n", *p, *q);  /* Output: 0 2 */
9
10     q = p + 4;
11     printf("%ld\n", q - p);      /* Output: 4 */
12     printf("%d %d\n", *p, *q);  /* Output: 0 4 */
13 }
```

Operatori

Gli operatori fondamentali per usare i puntatori sono:

- `*` (da leggere *il valore puntato da*)
- `&` (da leggere *l'indirizzo di*)
- `[]` accedo ad un elemento particolare di un vettore
- Si noti che `*p == p[0]`, `*(p+i) == p[i]`

```
1  int i;  
2  int v[10];  
3  int *p;  
4  
5  p = v;      /* p punta ad indice 0 di v */  
6  p = &v[0]; /* p punta ad elemento con indice 0 di v */  
7  p = &v[4]; /* p punta ad elemento con indice 4 di v */  
8  p = v + 4; /* p punta ad elemento con indice 4 di v */  
9  p++;      /* p punta ad elemento con indice 5 di v */  
10 i = p - v; /* i == 5 */
```

Puntatori e stringhe

- Vettori e puntatori sono concetti affini, ma esistono sottili differenze
 - I puntatori possono contenere indirizzi variabili nel corso dell'esecuzione, mentre i vettori rappresentano *indirizzi costanti* (non è possibile modificare l'indirizzo ad un vettore!)
 - Le stringhe memorizzate in un vettore possono essere modificate in ogni momento o accedendo ai singoli elementi oppure tramite apposite funzioni (e.g., *strcpy*). Le stringhe memorizzate attraverso puntatore sono invece memorizzate in aree di memoria in *sola lettura*
 - *sizeof* si comporta in modo diverso. Ritorna la dimensione del vettore o la dimensione del puntatore
 - *&* si comporta in modo diverso. Ritorna l'indirizzo del primo elemento o l'indirizzo del puntatore

```
1  int main(void) {
2      char s1[] = "nicola";
3      char *s2 = "nicola";
4
5      s1 = s2;          /* Errore in compilazione */
6      s2[0] = 'a';      /* Errore a runtime */
7      printf("%lu %lu\n", sizeof(s1), sizeof(s2));    /* Output: 7 8 */
8  }
```


Puntatori e stringhe

```
1 char s1[] = "prova";
2 char s2[] = {'p', 'r', 'o', 'v', 'a', '\\0'};
3 char c, *t;
4
5 c = *s1;          /* c == 'p' */
6 t = s1 + 2;       /* t contiene indirizzo del carattere 'o' */
7
8 s1[0] = *t;        /* s1 == "orova" */
9
10 t++;              /* t contiene indirizzo del carattere 'v' */
11
12 s1++;              /* errore in compilazione */
```

Puntatori e stringhe

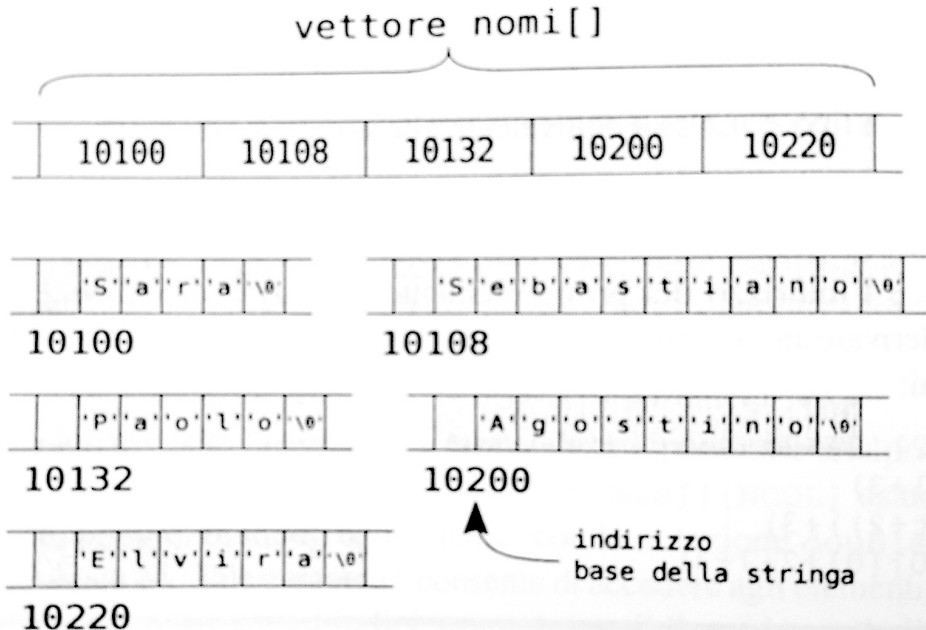
- L'esempio seguente mostra un possibile utilizzo dell'aritmetica dei puntatori al fine di calcolare la lunghezza di una stringa *zero-terminata*

```
1 unsigned str_len(char *ptr) {  
2     unsigned size = 0;  
3  
4     for (; *ptr; ptr++) size++;  
5     return size;  
6 }  
7  
8 int main(void) {  
9     char s[] = "prova";  
10    printf("%u\n", str_len(s));  
11 }
```

Vettori di stringhe

```
1  int main(void) {
2      int i;
3      char *strings[] = {
4          "Sara", "Sebastiano", "Paolo", "Agostino", "Elvira", NULL
5      };
6      char **p;
7
8      for (i = 0; i < 5; i++) {
9          printf("[%d] %s\n", i, strings[i]);
10     }
11
12     for (i = 0; i < 5; i++) {
13         printf("[%d] %s\n", i, *(strings + i));
14     }
15
16     i = 0;
17     for (p = strings; *p; p++) {
18         printf("[%d] %s\n", i++, *p);
19     }
20 }
```

Vettori di stringhe



Vettori di stringhe

```
1  int main(void) {
2      char *strings[] = {
3          "Sara", "Sebastiano", "Paolo", "Agostino", "Elvira", NULL
4      };
5      char **p = strings;
6
7      /* Indirizzo del primo puntatore a carattere */
8      printf("%p %p %p\n", strings, &strings[0], p);
9
10     /* Indirizzo del secondo puntatore a carattere */
11     printf("%p %p %p\n", strings + 1, &strings[1], p + 1);
12
13     /* Indirizzo del primo carattere della prima stringa */
14     printf("%p %p\n", &strings[0][0], *p);
15
16     /* Valore del primo carattere della prima stringa */
17     printf("%c %c\n", strings[0][0], **p);
18 }
```

L'allocazione dinamica della memoria

- Il linguaggio C permette di effettuare l'allocazione di memoria anche durante l'esecuzione del programma, sulla base di opportune condizioni che possono verificarsi durante l'esecuzione
- Questo tipo di allocazione di memoria è detta dinamica (*heap*), proprio perché avviene dinamicamente durante l'esecuzione. L'allocazione cosiddetta statica (*stack*) è quella che invece viene effettuata dal compilatore a seguito della dichiarazione delle variabili
- Il tempo di vita di porzioni di memoria allocate dinamicamente *non dipende* da quello della funzione in cui l'allocazione avviene

```
1 #include <stdlib.h>
2 void *malloc(size_t size);
3 void *calloc(size_t nmemb, size_t size);
4 void *realloc(void *ptr, size_t size);
5 free(void *ptr);
```

```
1 #include <string.h>
2 void bzero(void *str, size_t size);
3 void *memset(void *str, int c, size_t size)
4 void *memmove(void *str1, const void *str2, size_t size)
```

L'allocazione dinamica della memoria (malloc)

```
1 void *malloc(size_t size);
```

- **malloc** (Memory ALLOCation) richiede come argomento il numero di byte da allocare in memoria
- Restituisce l'indirizzo al quale la memoria è stata allocata
- Restituisce NULL se non è stato possibile allocare la memoria
- *Lo spazio allocato in memoria è contiguo*

```
1 int *p;  
2 /* Dipendente dal tipo di dato */  
3 p = malloc(10 * sizeof(int));  
4  
5 /* Indipendente dal tipo di dato, da preferire */  
6 p = malloc(10 * sizeof(*p));
```

L'allocazione dinamica della memoria (malloc)

- Viene allocato lo spazio necessario per memorizzare 10 valori interi contigui, uno spazio di memoria che può quindi essere acceduto come fosse un vettore
- E' possibile utilizzare il puntatore tramite indici (notazione []) per accedere alla memoria allocata

```
1  int *p;  
2  p = malloc(10 * sizeof(*p));  
3  
4  if (!p) {  
5      /* gestione dell'errore */  
6  }  
7  
8  for (int i = 0; i < 10; i++) {  
9      p[i] = i;  
10     /* oppure *(p + i) = i; */  
11 }  
12  
13 free(p);
```


L'allocazione dinamica della memoria (malloc)

- Tecniche per azzerare gli elementi di un vettore (allocato dinamicamente e non)

```
1  /* for e puntatori */
2  for(i = 0; i < 10; i++) {
3      p[i] = 0;
4  }
5
6  for (i = 0; i < 10; i++, p++) {
7      *p = 0;
8  }
9
10 /* memset */
11 memset(p, 0, 10 * sizeof(*p));
12
13 /* bzero */
14 bzero(p, 10 * sizeof(*p));
```

L'allocazione dinamica della memoria (*free*)

```
1 free(void *ptr);
```

- Libera il blocco di memoria di indirizzo *p* precedentemente allocato tramite *malloc*, *calloc* o *realloc*. La memoria liberata dall'invocazione di *free* diventa disponibile per altre applicazioni
- La memoria allocata dinamicamente deve essere rilasciata quando non è più necessaria, per evitare di occupare inutilmente memoria
- Con *memory leak* si intende il mancato utilizzo della funzione *free*. Come conseguenza, il sistema perde di continuo memoria disponibile

L'allocazione dinamica della memoria (calloc, realloc)

```
1 void *calloc(size_t nmemb, size_t size);
```

- Alloca un puntatore ad un blocco di memoria in grado di contenere un vettore di *nmemb* elementi ciascuno dei quali ha dimensione *size*
- Il blocco di memoria viene inizializzato a 0 byte per byte

```
1 void *realloc(void *ptr, size_t size);
```

- Ridimensiona a *size* un blocco di memoria già allocato e puntato da *ptr*
- Preserva il contenuto della memoria già allocata e non inizializza il blocco di memoria aggiuntivo
- In caso **p* sia un puntatore non allocato o su cui è già stata chiamata *free* il comportamento è non definito

L'allocazione dinamica della memoria (calloc, realloc)

- In questo esempio viene allocato dinamicamente (e inizializzato a 0) lo spazio necessario a contenere 10 interi. Successivamente, lo spazio allocato viene allargato per contenere 20 interi e la memoria aggiuntiva viene, a sua volta, inizializzata a 0.

```
1  int main(void) {
2      int i, *p;
3
4      p = calloc(10, sizeof(*p));
5      for (i=0; i<10; i++) {
6          printf("%d\n", p[i]);
7      }
8
9      p = realloc(p, 20 * sizeof(*p));
10     for (i=10; i<20; i++) {
11         p[i] = 0;
12     }
13 }
```

L'allocazione dinamica della memoria (esempio strdup)

- Esistono funzioni di libreria che utilizzano *malloc* per svolgere i loro compiti

```
1 char *strdup(const char *s);
```

- *strdup* (STRing DUPLICATE) dichiarata in *string.h*, ritorna un puntatore a una nuova stringa che è un duplicato della stringa *s* passata come parametro
- La funzione, al suo interno, alloca memoria per la nuova stringa con *malloc*. Quando la copia generata non viene più utilizzata, la memoria deve essere esplicitamente liberata con *free*

```
1 The strdup() function returns a pointer to a new string which is  
2 a duplicate of the string s. Memory for the new string is  
3 obtained with malloc(3), and can be freed with free(3).
```

L'allocazione dinamica della memoria (esempio strdup)

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <string.h>
4
5  int main(void) {
6      char *str = "hello world!";
7      char *str_copy = strdup(str);
8
9      printf("%s %s\n", str, str_copy);
10
11     free(str_copy);
12
13     /* error: pointer being freed was not allocated */
14     free(str);
15 }
```

Problemi con i puntatori (dangling references)

- Un puntatore *dangling* è puntatore che punta ad un'area di memoria non valida

```
1  int *p;                                /* puntatore a intero (definizione) */
2
3  p = malloc(sizeof(*p));                /* allocazione della memoria */
4
5  *p = 57;                               /* impiego dell'area allocata */
6
7  free(p);                               /* deallocazione memoria */
8
9  *p = 20;                               /* Errore! Dangling Reference */
10                                     /* L'area di memoria puntata da p non e' piu
                                     /*   ' disponibile !!!! */
11
12  p = NULL;                             /* Non accedo alla memoria puntata da p */
13                                     /* Accedo a p e lo faccio puntare a NULL */
```

Problemi con i puntatori (dangling references)

- In questo caso viene ritornato l'indirizzo di una variabile memorizzata nella porzione di stack riservata alla funzione *func*. Sfortunatamente, quella porzione di memoria viene resa disponibile non appena la funzione *func* termina. Questa circostanza genera un warning in compilazione.

```
1  int *func(void) {  
2      int n = 13;  
3      return &n;  
4  }  
5  
6  int main(void) {  
7      int *p;  
8  
9      p = func();  
10     printf("%d\n", *p);  
11 }
```


Problemi con i puntatori (aree non piu' utilizzabili)

- Questo problema avviene quando, per un qualsiasi motivo, viene perso l'indirizzo di un'area di memoria ancora allocata. Chiaramente l'area di memoria interessata non e' piu' referenziabile e nemmeno deallocabile!

```
1  int *p1, *p2;                /* definizione di 2 puntatori a intero */
2
3  p1 = malloc(sizeof(*p1));     /* alloco 1^ area di memoria */
4  p2 = malloc(sizeof(*p2));     /* alloco 2^ area di memoria */
5
6  /*
7   * Errore! p2 punta all'area di memoria di p1!
8   * Non posso piu' accedere alla memoria allocata con la seconda malloc()
9   */
10 p2 = p1;
```

Allocazione dinamica e matrici

- E' possibile allocare dinamicamente matrici (array bi-dimensionali), utilizzando sia un singolo puntatore (type `*matrix`) che un puntatore a puntatore (type `**matrix`)
- Il primo (singolo puntatore) è semplice, immediato, ma impedisce uso di indicizzazione esplicita (`matrix[i][j]`) e necessita di calcolo manuale dell'offset (`offset = i * cols + j`)
- Il secondo (puntatore a puntatore) richiede un meccanismo più complesso per allocare e deallocare la memoria, ma consente l'uso di indicizzazione esplicita (`matrix[i][j]`)

Allocazione dinamica e matrici

Conceptual representation
`int matrix[3][3]`

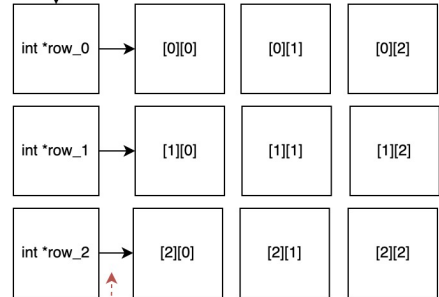


In-memory structure
`(int *)matrix`



Puntatore ad intero. Punta al primo elemento di un vettore di interi.

In-memory structure
`(int **)matrix`



Puntatore a puntatore ad intero.
Punta al primo elemento di un
vettore di puntatori ad intero.

Allocazione dinamica e matrici (singolo puntatore)

```
1  int *allocate_matrix(unsigned rows, unsigned cols) {
2      int *m;
3
4      m = malloc((unsigned long)(rows * cols) * sizeof(*m));
5      return m;
6  }
```

```
1  int main(void) {
2      int *m;
3
4      m = allocate_matrix(10, 10);
5      if (m == NULL) {
6          /* managing allocation error */
7      }
8      /* code here */
9      free_matrix(m);
10 }
```

Allocazione dinamica e matrici (singolo puntatore)

```
1 void show_matrix(unsigned rows, unsigned cols, int *m) {
2     unsigned i, j, offset;
3
4     for (i = 0; i < rows; i++) {
5         for (j = 0; j < cols; j++) {
6             offset = i * cols + j;
7             printf("%4d", m[offset]);
8         }
9         printf("\n");
10    }
11 }
```

```
1 void free_matrix(int *m) {
2     free(m);
3 }
```

Allocazione dinamica e matrici (doppio puntatore)

```
1  int **allocate_matrix(unsigned rows, unsigned cols) {
2      unsigned i;
3      int **m;
4
5      m = malloc((unsigned long)(rows) * sizeof(*m));
6      if (m == NULL) return NULL;
7      for (i = 0; i < rows; i++) {
8          m[i] = malloc((unsigned long)(cols) * sizeof(**m));
9          if (m[i] == NULL) return NULL;
10     }
11     return m;
12 }
```

```
1  int main(void) {
2      int **m;
3      m = allocate_matrix(3, 2);
4      /* code here */
5      free_matrix(3, m);
6  }
```

Allocazione dinamica e matrici (doppio puntatore)

```
1 void show_matrix(unsigned rows, unsigned cols, int **m) {
2     unsigned i, j;
3     for (i = 0; i < rows; i++) {
4         for (j = 0; j < cols; j++) {
5             printf("%4d", m[i][j]);
6         }
7         printf("\n");
8     }
9 }
```

```
1 void free_matrix(unsigned rows, unsigned cols, int **m) {
2     unsigned i;
3     for (i = 0; i < rows; i++) {
4         free(m[i]);
5     }
6     free(m);
7 }
```

Allocazione dinamica e strutture

- Nel caso di oggetti relativamente complessi come le matrici, in cui i dati veri e propri (il contenuto della matrice) è sempre abbinato ad informazioni aggiuntive come al esempio il numero di righe e di colonne, l'utilizzo di strutture (aggregazione del codice) è consigliabile!

```
1 struct matrix {  
2     size_t rows, cols;  
3     double **data;  
4 };
```

```
1 int main(void) {  
2     struct matrix *m, *m_trans;  
3  
4     m = allocate_matrix(3, 2);  
5     fill_matrix(m);  
6     m_trans = matrix_transpose(m);  
7     free_matrix(m);  
8     free_matrix(m_trans);  
9 }
```


Allocazione dinamica e strutture

```
1  struct matrix *allocate_matrix(size_t rows, size_t cols) {
2      struct matrix *m;
3      size_t i;
4
5      m = malloc(sizeof(*m));
6      m->rows = rows;
7      m->cols = cols;
8      m->data = malloc((unsigned long) (rows) * sizeof*(m->data)));
9      if (m == NULL) return NULL;
10
11     for (i = 0; i < rows; i++) {
12         m->data[i] = malloc((unsigned long) (cols) * sizeof** (m->data)));
13         if (m->data[i] == NULL) return NULL;
14     }
15
16     return m;
17 }
```

Allocazione dinamica e strutture

```
1 void show_matrix(const struct matrix *m) {  
2     size_t i, j;  
3     for (i = 0; i < m->rows; i++) {  
4         for (j = 0; j < m->cols; j++) {  
5             printf("%8.2lf", m->data[i][j]);  
6         }  
7         printf("\n");  
8     }  
9 }
```

```
1 void free_matrix(struct matrix *m) {  
2     size_t i;  
3     for (i = 0; i < m->rows; i++) {  
4         free(m->data[i]);  
5     }  
6     free(m->data);  
7     free(m);  
8 }
```

Puntatori a funzione

- In C, così come il nome di un array è un puntatore al suo primo elemento, il nome di una funzione è un puntatore alla funzione stessa. Il C permette la manipolazione esplicita dei puntatori a funzione. Data la funzione $f()$:

```
1  int f(short, double)
```

- Allora il nome f è un puntatore di tipo:

```
1  int (*)(short, double)
```

- Dichiarando un puntatore dello stesso tipo, si può effettuare, ad esempio, un assegnamento:

```
1  int (*ptr_to_f)(short, double);    /* ptrtof puntatore a funzione */
2  ptr_to_f = f;                      /* assegna indirizzo di f a ptrtof */
3  (*ptr_to_f)(2, 3.14);              /* invoca f attraverso un puntatore */
```

- Si presti attenzione alla sintassi: $\text{int } *f(\text{int});$ dichiara il prototipo di una funzione che restituisce un puntatore a intero. $\text{int } (*f)(\text{int});$ dichiara un puntatore a funzione.