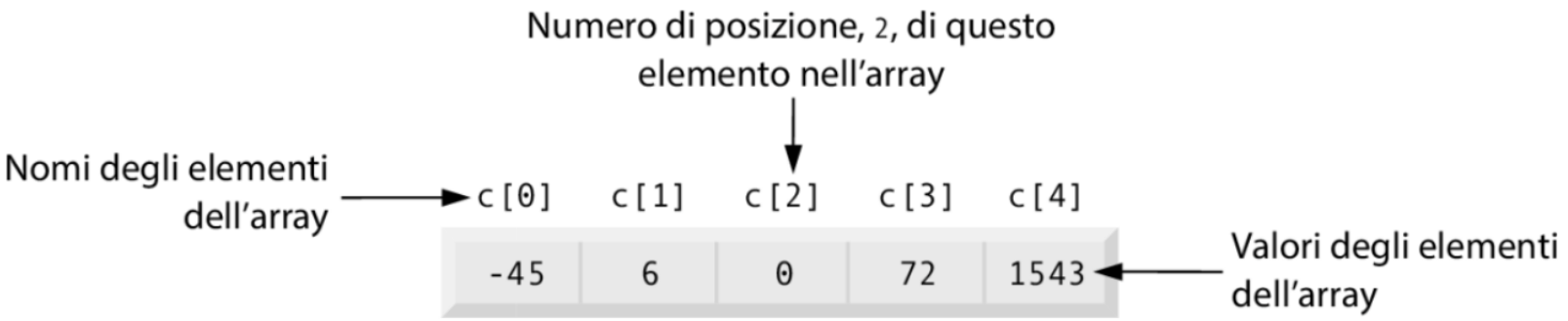
Array

Gli array (o vettori)

- Un array è un **gruppo** di elementi **dello stesso tipo** immagazzinati in modo contiguo nella memoria.
- Vedremo nelle prossime lezioni il costrutto `struct` del C, una struttura di dati costituita da dati correlati di tipi possibilmente differenti
- Array e `struct` sono entità "statiche" in quanto rimangono della stessa dimensione per tutto il loro tempo di vita

Elementi e indici



Fonte: Deitel & Deitel

- Per riferirsi ad un elemento, si utilizza il nome dell'array seguito dal numero di posizione tra parentesi quadre `[ ]`
- Il numero di posizione dell'elemento nell'array è detto **indice**
  - Il primo elemento ha indice 0 (zero)
  - L'indice deve essere un intero non negativo o un'espressione intera
- Il nome dell'array è un **lvalue** (si può usare sul lato sinistro di un'assegnazione)

Definire gli array

- Specificare il tipo di elemento e il numero di elementi
  - Permette al compilatore di riservare la giusta quantità di memoria
- Esempi:
  - `int c[5];`
    Array di interi c con 5 elementi (indici da 0 a 4).
  - `int b[100];`
    Array di interi b con 100 elementi (indici da 0 a 99).
  - `int x[27];`
    Array di interi x con 27 elementi (indici da 0 a 26).
- Un array di tipo `char` può memorizzare una stringa di caratteri

Definire un array usando un ciclo

```c
// fig06_01.c
// Inizializzare gli elementi di un array a zero.
#include <stdio.h>

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   int  n[ 5 ]; // n e' un array di 5 interi

   // imposta gli elementi dell'array n a 0
   for  ( size_t  i =  0 ; i <  5 ; ++i) {
      n[i] =  0 ;  // imposta a 0 l'elemento alla locazione i
    }

    printf("%s%8s\n", "Element", "Value");

    // stampa il contenuto dell'array n in formato tabellare
    for  ( size_t  i =  0 ; i <  5 ; ++i) {
       printf( "%7zu%8d\n" , i, n[i]);
    }
 }
```

```
Element   Value
      0       0
      1       0
      2       0
      3       0
      4       0
```

Fonte: Deitel & Deitel

Definire un array usando un ciclo

- La variabile di controllo `i` è utilizzata come contatore nelle istruzioni `for`:
- Il tipo `size_t` rappresenta un tipo intero senza segno
- Raccomandato per variabili che rappresentano dimensioni o indici di array
- Definito nel file di intestazione `<stddef.h>`
- Spesso incluso anche in altri file di intestazione, come `<stdio.h>`
- Per la stampa di valori `size_t` si utilizza la specifica di conversione `%zu`

Inizializzare un array con una lista

```c
// fig06_02.c
// Inizializzare gli elementi di un array con una lista di inizializzatori.
#include <stdio.h>

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   int  n[ 5 ] = { 32 ,  27 ,  64 ,  18 ,  95 }; // inizializza n con lista di inizializzatori

   printf("%s%8s\n", "Element", "Value");

    // stampa il contenuto dell'array in formato tabellare
    for (size_t i = 0; i < 5; ++i) {
       printf("%7zu%8d\n", i, n[i]);
    }
 }
```

```
Element   Value
      0      32
      1      27
      2      64
      3      18
      4      95
```

Fonte: Deitel & Deitel

Inizializzare un array con una lista

- **Inizializzazione parziale degli array**: se ci sono meno inizializzatori degli elementi, i rimanenti sono inizializzati a 0
  - `int n[5] = {1};`
    Inizializza `n[0]` a 1 ed implicitamente tutti gli altri elementi a 0
- **Errore di compilazione**: si verifica se ci sono più inizializzatori di quanti siano gli elementi nell'array
  - `int n[3] = {32, 27, 64, 18};`
    Quattro inizializzatori per un array di tre elementi
- **Inizializzazione completa senza specificare dimensione**:
  - `int n[] = {1, 2, 3, 4, 5};`
    Array di 5 elementi con valori da 1 a 5
  - Se la dimensione dell'array è omessa, il compilatore calcola la dimensione in base al numero di inizializzatori

Specificare la dimensione di un array con una costante simbolica

```c
// fig06_03.c
// Inizializzare gli elementi dell'array s con gli interi pari da 2 a 10.
#include <stdio.h>
#define  SIZE 5 // massima dimensione dell'array

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   // la costante simbolica SIZE specifica la dimensione dell'array
   int  s[ SIZE ] = { 0 }; // l'array s ha un numero di elementi uguale a SIZE

   for (size_t j = 0; j <  SIZE; ++j) { // imposta i valori
       s[j] =  2  +  2  * j;
    }

    printf("%s%8s\n", "Element", "Value");

    // stampa il contenuto dell'array s in formato tabellare
    for (size_t j = 0; j <  SIZE; ++j) {
       printf("%7zu%8d\n", j, s[j]);
    }
 }
```

```
Element   Value
      0       2
      1       4
      2       6
      3       8
      4      10
```

Fonte: Deitel & Deitel

Direttiva per il processore `#define`

- Utilizzata per creare costanti simboliche
  - `#define SIZE 5` Crea la costante simbolica SIZE con valore 5
- Il preprocessore sostituisce ogni occorrenza di `SIZE` con 5 prima della compilazione
- Migliora la leggibilità e la modificabilità del codice
- Permette di cambiare la dimensione di un array modificando un solo valore
  - Cambiare `SIZE` da 5 a 1000 modifica automaticamente l'array in tutte le sue occorrenze.
- Facilita la manutenzione del codice, evitando errori dovuti a valori numerici ripetuti

Direttiva per il processore `#define`

- Non usare il punto e virgola alla fine di una direttiva `#define`
- Esempio di errore:
  - `#define SIZE 5;`
    sostituisce tutte le occorrenze con "`5;`", causando errori di sintassi
- Le costanti simboliche non sono variabili
  - assegnare loro un valore in un'istruzione eseguibile provoca un errore di compilazione
- Convenzione di stile: usare lettere maiuscole per le costanti simboliche (es. `SIZE`)

Sommare gli elementi di un array

```c
// fig06_04.c
// Calcolare la somma degli elementi di un array.
#include <stdio.h>
#define SIZE 5

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   // usa una lista di inizializzatori per inizializzare l'array
   int a[SIZE] = {1, 2, 3, 4, 5};
   int total = 0; // somma dell'array

    // somma i valori contenuti nell'array a
    for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
       total += a[i];
    }

    printf("The total of a's values is %d\n", total);
 }
```

```
The total of a's values is 15
```

Fonte: Deitel & Deitel

Usare array per riassumere i risultati di un sondaggio

- A venti studenti viene chiesto di valutare la qualità del cibo nella caffetteria degli studenti con una scala da 1 a 5 (1 significa pessima e 5 eccellente)
- Mettete le 20 risposte in un array intero e riassumete i risultati del sondaggio

Usare array per riassumere i risultati di un sondaggio

```c
// fig06_05.c
// Analisi di un sondaggio di studenti.
#include <stdio.h>
#define RESPONSES_SIZE 20 // definisci le dimensioni degli array
#define FREQUENCY_SIZE 6

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   // inserisci le risposte del sondaggio nell'array delle risposte
   int responses[RESPONSES_SIZE] =
       {1, 2, 5, 4, 3, 5, 2, 1, 3, 1, 4, 3, 3, 3, 2, 3, 3, 2, 2, 5};

    // inizializza i contatori per le frequenze a 0
    int  frequency[ FREQUENCY_SIZE ] = { 0 };

    // per ogni risposta, seleziona il valore di un elemento dell'array
    // responses e usa quel valore come indice nell'array frequency per
    // determinare l'elemento da incrementare
    for (size_t answer = 0; answer < RESPONSES_SIZE; ++answer) {
       ++frequency[responses[answer]];
    }

    // stampa i risultati
    printf("%s%12s\n", "Rating", "Frequency");

    // stampa le frequenze in un formato tabellare
    for  ( size_t  rating =  1 ; rating <  FREQUENCY_SIZE ; ++rating) {
       printf("%6zu%12d\n", rating, frequency[rating]);
    }
 }
```

```
Rating   Frequency
     1           3
     2           5
     3           7
     4           2
     5           3
```

Fonte: Deitel & Deitel

Usare array per riassumere i risultati di un sondaggio

- Abbiamo due array principali:
  - `responses`: un array di 20 elementi che contiene le risposte degli studenti.
  - `frequency`: un array di 6 elementi usato per contare quante volte ciascuna risposta è stata data.
- `frequency[0]` è ignorato; le risposte incrementano da `frequency[1]` in poi
- Permette di usare ogni risposta direttamente come indice in `frequency`
- Nel progettare il programma, è fondamentale puntare alla chiarezza
  - A volte, è preferibile sacrificare un po' di efficienza nella memoria o nel tempo di esecuzione per rendere il codice più comprensibile

Usare array per riassumere i risultati di un sondaggio

- Nel ciclo `for` le risposte vengono prelevate dall'array `responses` e incrementano i contatori:

```
++frequency[responses[answer]];
```

- Se `answer` è 0, `responses[answer]` è 1, quindi `++frequency[1]` incrementa `frequency[1]`
- Se `answer` è 1, `responses[answer]` è 2, quindi `++frequency[2]` incrementa `frequency[2]`
- Se `answer` è 2, `responses[answer]` è 5 quindi `++frequency[5]` incrementa `frequency[5]`
- Il ciclo aggiorna il contatore corretto in `frequency` per ogni risposta

Usare array per riassumere i risultati di un sondaggio

- Voti da 1 a 5 nel sondaggio
  - In questo caso un array con 6 elementi (escludendo l'elemento zero) è sufficiente per riassumere i risultati
- Se i dati contenessero valori come 13, il programma tenterebbe di accedere a `frequency[13]`, fuori dai confini dell'array
- Il C non ha controllo automatico sui confini degli array, il che può causare accessi a posizioni non valide senza avvisi
- I programmi devono convalidare tutti i valori in ingresso per evitare che valori errati influenzino i calcoli e causino problemi di sicurezza

Usare array per riassumere i risultati di un sondaggio

- Fare riferimento a un elemento al di fuori dei limiti di un array è considerato un **errore logico**
- L'indice dell'array deve essere compreso tra 0 e dimensione dell'array meno uno `(SIZE - 1)`
  - Assicuratevi che l'indice non scenda sotto 0 e sia sempre minore del numero totale degli elementi dell'array
- È essenziale garantire che tutti i riferimenti all'array rimangano entro i confini definiti dell'array per evitare errori

Intervallo

Fonte: PlaygroundAI

Rappresentare con grafici a barre i valori degli elementi di un array

```c
// fig06_06.c
// Stampa di una grafico a barre.
#include <stdio.h>
#define SIZE 5

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   // usa la lista di inizializzatori per inizializzare l'array n
   int n[SIZE] = {19, 3, 15, 7, 11};

   printf("%s%13s%17s\n", "Element", "Value", "Bar Chart");

    // per ogni elemento dell'array n, stampa una barra del grafico
    for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
       printf( "%7zu%13d%8s" , i, n[i],  "" );

       for  ( int  j =  1 ; j <= n[i]; ++j) {  // stampa una barra
          printf( "%c" ,  '*' );
       }

       puts(""); // termina una barra con un newline
    }
 }
```

```
Element         Value        Bar Chart
      0            19        ********************
      1             3        ***
      2            15        ***************
      3             7        *******
      4            11        ***********
```

Fonte: Deitel & Deitel

Lanciare un dado 60.000.000 di volte e riepilogare i risultati in un array

```c
// fig06_07.c
// Lancio di un dado a sei facce 60.000.000 di volte
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#define SIZE 7

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   srand(time(NULL)); // seme per il generatore di numeri casuali

    int frequency[SIZE] = {0}; // inizializza tutti i conti di frequency a 0

    // lancia il dado 60.000.000 di volte
    for (int roll = 1; roll <= 60000000; ++roll) {
       size_t face = 1 + rand() % 6;
       ++frequency[face]; // sostituisce l'intero switch della Figura 5.5
    }

    printf("%s%17s\n", "Face", "Frequency");

    // stampa gli elementi di frequency 1-6 in formato tabellare
    for (size_t face = 1; face < SIZE; ++face) {
       printf("%4zu%17d\n", face, frequency[face]);
    }
 }
```

```
Face        Frequency
   1          9997167
   2         10003506
   3         10001940
   4          9995833
   5         10000843
   6         10000711
```

Fonte: Deitel & Deitel

Quiz

Array, caratteri e stringhe

- Un array di caratteri può essere inizializzato usando una stringa letterale, es.:

```
char string1[] = "first";
```

- La dimensione dell'array è determinata dal compilatore in base alla lunghezza della stringa, inclusivo del carattere nullo di terminazione.
  - La stringa "first" contiene 5 caratteri più il carattere nullo '\0', quindi string1 ha 6 elementi in totale
- Il carattere nullo di terminazione segna la fine di una stringa
- È fondamentale che l'array di caratteri sia abbastanza grande da contenere tutti i caratteri della stringa e il carattere nullo di terminazione

Accesso in un array di caratteri

- E' possibile accedere ai singoli caratteri di una stringa direttamente usando la notazione con indice per gli array
- Es: `char string1[] = "first";`
  - `string1[0]` è 'f'
  - `string1[3]` è 's'
  - `string1[5]` è '\0'

Definizione di un array di caratteri

```
char string2[20];
```

- crea un array di caratteri capace di memorizzare una stringa di massimo 19 caratteri più un carattere nullo di terminazione
- L'istruzione `scanf("%19s", string2);` legge una stringa dalla tastiera e la memorizza in `string2`
- Il nome dell'array `string2` è passato a `scanf` **senza** il carattere `&`
  - normalmente usato con `scanf` per passare l'indirizzo di memoria delle variabili non stringa

Gestione di un array di caratteri

- Assicurarsi che l'array possa contenere qualsiasi stringa immessa dall'utente
- La funzione `scanf` non verifica la dimensione dell'array e legge fino a uno spazio, tabulazione, newline o end-of-file.
- L'array `string2` deve avere una dimensione sufficiente per contenere la stringa più il carattere nullo di terminazione
- Se l'utente inserisce 20 o più caratteri, si possono verificare:
  - Arresto del programma
  - Problemi di sicurezza noti come **overflow del buffer**
- Utilizzare `%19s` con `scanf` limita la lettura a 19 caratteri e previene scrittura in memoria oltre la fine dell'array `string2`

Stampa di un array di caratteri

- Per stampare un array di caratteri che rappresenta una stringa, si usa la specifica di conversione `%s`
  - `printf("%s\n", string2);`
    stampa il contenuto dell'array string2.
- Come `scanf`, `printf` non verifica la dimensione dell'array di caratteri
- `printf` stampa i caratteri fino a incontrare un carattere nullo di terminazione `('\0')`
- Se il carattere nullo di terminazione è mancante `printf` potrebbe continuare a stampare dati non previsti, portando a risultati imprevedibili o problemi di sicurezza

Illustrazione di un array di caratteri

```c
// fig06_08.c
// Trattare gli array di caratteri come stringhe.
#include <stdio.h>
#define SIZE 20

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   char string1[SIZE] = ""; // riserva 20 caratteri
   char string2[] =  "string literal" ; // riserva 15 caratteri

   // memorizza la stringa inserita dall'utente nell'array string1
    printf("%s", "Enter a string (no longer than 19 characters): ");
    scanf("%19s", string1); // leggi non più di 19 caratteri

    // stampa le stringhe
    printf( "string1 is: %s\nstring2 is: %s\n" , string1, string2);
    puts("string1 with spaces between characters is:");

    // stampa i caratteri finche' non si raggiunge il carattere nullo
    for  ( size_t  i =  0 ; i <  SIZE  && string1[i] !=  '\0' ; ++i) {
       printf( "%c " , string1[i]);
    }

    puts("");
 }
```

```
Enter a string (no longer than 19 characters): Hello there
string1 is: Hello
string2 is: string literal
string1 with spaces between characters is:
H e l l o
```

Fonte: Deitel & Deitel

Passare gli array alle funzioni

- Per passare un array come argomento a una funzione, specificare solo il nome dell'array, senza parentesi

```
modifyArray(hourlyTemperatures, HOURS_IN_A_DAY);
```

  - L'array e la sua dimensione vengono solitamente passati alla funzione
- In C, tutti gli argomenti sono passati per valore, tranne gli array che sono passati per **riferimento**
- La funzione chiamata riceve l'indirizzo del primo elemento dell'array
  - può modificare direttamente i valori dell'array originario nella funzione chiamante
  - Il nome di un array rappresenta l'indirizzo in memoria del primo elemento dell'array
- Poiché l'indirizzo di partenza viene passato, la funzione chiamata sa esattamente dove l'array è memorizzato e può apportare modifiche agli elementi dell'array

Passare gli array alle funzioni

```c
// fig06_10.c
// Il nome di un array coincide con l'indirizzo del suo primo elemento.
#include <stdio.h>

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   char array[5] = ""; // definisci un array di dimensione 5

   printf( "    array = %p\n&array[0] = %p\n   &array = %p\n" ,
      array, &array[ 0 ], &array);
}
```

```
    array = 0031F930
&array[0] = 0031F930
   &array = 0031F930
```

Fonte: Deitel & Deitel

- Stampa di vari indirizzi usando la specifica di conversione `%p`
- `%p` stampa indirizzi in formato esadecimale (base 16), che può variare in base al compilatore
- I numeri esadecimali utilizzano le cifre da 0 a 9 e le lettere da A a F (equivalenti ai numeri decimali 10-15)

Passare gli array alle funzioni

- L'output mostra che `array`, `&array` e `&array[0]` hanno lo stesso valore, confermando che rappresentano lo stesso indirizzo
- Gli indirizzi sono identici per ogni esecuzione del programma su uno specifico computer, ma l'output può variare tra diversi sistemi
- Il passaggio degli array per riferimento ha senso per ragioni di prestazioni
- Se gli array fossero passati per valore, verrebbe passata una copia di ogni elemento
- Nel caso di array grandi passati frequentemente, ciò comporterebbe un consumo significativo di tempo e memoria per copiare gli array

Passare gli array alle funzioni

- Gli array sono passati per riferimento alle funzioni, permettendo alla funzione di modificare l'intero array
- Gli elementi singoli dell'array sono passati per valore, come le variabili scalari
  - Esempi di scalari: `int`, `float`, `char`
- Per passare un elemento specifico dell'array a una funzione:
  - Utilizzare il nome dell'array seguito dall'indice dell'elemento come argomento nella chiamata della funzione
  - Es: `function(array[2]);` passa il valore dell'elemento all'indice 2 dell'array alla funzione `function`

Passare gli array alle funzioni

- La funzione modifyArray può essere dichiarata per ricevere un array di interi e il numero di elementi dell'array come segue:

```
void modifyArray(int b[], int size);
```

- `int b[]` indica che la funzione si aspetta un array di interi
- `int size` specifica il numero di elementi dell'array
- La dimensione dell'array tra le parentesi quadre (`[]`) non è necessaria e viene ignorata se inclusa; se specificata, deve essere positiva
  - Se la dimensione è negativa, si verifica un errore di compilazione.

Passare gli array alle funzioni

```
void modifyArray(int b[], int size);
```

- Il nome dell'array `b` nella funzione si riferisce all'array originario passato dalla funzione chiamante
- Quando la funzione `modifyArray` è chiamata, il nome dell'array passato rappresenta l'indirizzo del primo elemento dell'array nella funzione chiamante
- Es. chiamata di funzione
  `modifyArray(hourlyTemperatures, HOURS_IN_A_DAY);`
  - `hourlyTemperatures` è l'array passato alla funzione `modifyArray`
  - `HOURS_IN_A_DAY` rappresenta il numero di elementi dell'array
  - Il parametro `b` rappresenta l'array `hourlyTemperatures` nella funzione chiamante

Passare gli array alle funzioni

- Deitel code example `06_11.c`
- Il programma evidenzia la differenza tra il passaggio di un array intero e il passaggio di un singolo elemento dell'array
- Inizialmente, il programma stampa i cinque elementi dell'array
- Successivamente, l'array e la sua dimensione vengono passati alla funzione `modifyArray`, dove ogni elemento di a viene moltiplicato per 2
- Il contenuto aggiornato viene quindi stampato mostrando che `modifyArray` ha modificato effettivamente gli elementi dell'array
- Successivamente, il valore di `a[3]` viene stampato e passato alla funzione `modifyElement`
- Questa funzione moltiplica il valore per 2 e stampa il risultato
- Tuttavia, quando il programma stampa nuovamente `a[3]`, il valore non è stato modificato, poiché gli elementi individuali dell'array sono passati per valore e non per riferimento

Passare gli array alle funzioni

```
1   // nella funzione tryToModifyArray, l'array b e' const, per cui non lo si
2   // puo' usare per modificare il suo argomento array nella funzione chiamante
3   void tryToModifyArray( const int  b[] ) {
4      b[ 0 ] /=  2 ; // errore
5      b[ 1 ] /=  2 ; // errore
6      b[ 2 ] /=  2 ; // errore
7   }
```

Fonte: Deitel & Deitel

- In alcune situazioni, è necessario impedire che una funzione modifichi gli elementi di un array
- Il qualificatore di tipo `const` in C può impedire a una funzione di modificare un array
  - gli elementi sono trattati come costanti nella funzione
  - Ogni tentativo di modificare un elemento dell'array all'interno della funzione produce un errore di compilazione
- Questo approccio segue il principio del **privilegio minimo**, limitando le modifiche non necessarie agli array della funzione chiamante

Intervallo

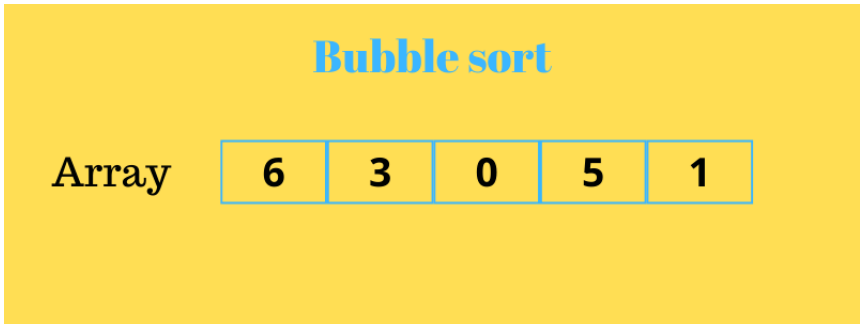
Fonte: PlaygroundAI

Ordinamento di un array

- Ordinare i dati (in ordine crescente o decrescente) è una delle applicazioni più importanti in informatica
- Esempi pratici: le banche ordinano gli assegni per numero di conto per preparare estratti conto; le compagnie telefoniche ordinano gli elenchi dei clienti per nome e cognome
  - Quasi tutte le organizzazioni devono ordinare dati, spesso in grandi quantità (Big Data)
- L'ordinamento dei dati è un problema complesso che ha attirato molte ricerche in informatica
- Esistono algoritmi di ordinamento semplici, facili da scrivere, testare e correggere, ma con prestazioni generalmente scarse
- Per migliorare le prestazioni, sono spesso necessari algoritmi di ordinamento più complessi.

Bubble Sort

- La tecnica di ordinamento chiamata "bubble sort" o "sinking sort" ordina i valori come bolle che salgono verso la cima o affondano verso il fondo dell'array
  - I valori più piccoli "salgono" progressivamente verso l'inizio dell'array, mentre i valori più grandi "scendono" verso la fine
- L'algoritmo esegue diverse passate lungo l'array, confrontando coppie successive di elementi (elemento 0 con elemento 1, elemento 1 con elemento 2, e così via)
  - Se una coppia di valori è in ordine crescente (o se i valori sono uguali), i valori restano in posizione
  - Se una coppia di valori è in ordine decrescente, i valori vengono scambiati



Fonte: https://www.programmingsimplified.com/c/source-code/c-program-bubble-sort

Bubble Sort

```c
// fig06_12.c
// Ordinare i valori di un array in ordine crescente.
#include <stdio.h>
#define SIZE 10

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   int a[SIZE] = {2, 6, 4, 8, 10, 12, 89, 68, 45, 37};

   puts("Data items in original order");

    // stampa l'array originario
    for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
       printf("%4d", a[i]);
    }

    // bubble sort
    // ciclo per il numero di passate
    for  ( int  pass =  1 ; pass <  SIZE ; ++pass) {
       // ciclo per il numero di confronti a ogni passata
        for  ( size_t  i =  0 ; i <  SIZE  -  1 ; ++i) {
          // confronta due elementi adiacenti e scambiali se il
          // primo elemento e' maggiore del secondo elemento
          if  (a[i] > a[i +  1 ]) {
             int  hold = a[i];
            a[i] = a[i +  1 ];
            a[i +  1 ] = hold;
          }
       }
    }

    puts("\nData items in ascending order");

    // stampa l'array ordinato
    for (size_t i = 0; i < SIZE; ++i) {
       printf("%4d", a[i]);
    }

    puts("");
 }
```

```
Data items in original order
   2   6   4   8  10  12  89  68  45  37
Data items in ascending order
   2   4   6   8  10  12  37  45  68  89
```

Fonte: Deitel & Deitel

Bubble Sort

- Il programma confronta gli elementi successivi dell'array: prima `a[0]` con `a[1]`, poi `a[1]` con `a[2]`, fino a confrontare `a[8]` con `a[9]`
- Anche se ci sono 10 elementi, vengono eseguiti solo 9 confronti per passata
- Un valore grande può scendere molte posizioni durante una singola passata, mentre un valore piccolo può salire solo di una posizione
  - Dopo la prima passata, il valore più grande è posizionato all'ultimo posto dell'array (`a[9]`)
  - Alla seconda passata, il secondo valore più grande scende fino a `a[8]`, e così via
  - Dopo la nona passata, il penultimo valore più grande arriva a `a[1]`, lasciando il valore più piccolo in `a[0]`
- Per ordinare un array di 10 elementi, sono necessarie solo nove passate

Bubble Sort

- L'ordinamento avviene tramite cicli annidati `for`
- Lo scambio tra due valori, se necessario, viene effettuato con tre assegnazioni:

```
int hold = a[i];
a[i] = a[i + 1];
a[i + 1] = hold;
```

- La variabile `hold` viene usata per memorizzare temporaneamente uno dei due valori da scambiare.
- Utilizzare solo due assegnazioni, come:

```
a[i] = a[i + 1]
a[i + 1] = a[i];
```

  - risulterebbe nella perdita di uno dei due valori.
- Pertanto, è necessaria una variabile extra come `hold` per conservare temporaneamente il valore durante lo scambio

Bubble Sort

- Complessità di tempo quadratica $O(n^2)$ dove n è il numero di elementi nell'array
  - Il tempo di esecuzione cresce quadraticamente con la dimensione dell'input
- Esegue molti scambi, il che lo rende inefficiente su array di grandi dimensioni rispetto ad altri algoritmi di ordinamento.
  - Ogni scambio richiede un'operazione di lettura e scrittura in memoria.
- E' un algoritmo **stabile**, il che significa che preserva l'ordine relativo degli elementi con chiavi uguali
  - Questo può essere utile in applicazioni dove l'ordine degli elementi identici deve essere mantenuto.
- È raramente usato in applicazioni pratiche per il sorting di grandi volumi di dati.
- E' semplice da implementare e capire, il che lo rende un buon punto di partenza per chi sta imparando gli algoritmi di ordinamento.

Ricerca in array

- Gli array spesso contengono grandi quantità di dati con cui lavorare
- Potrebbe essere necessario cercare un valore specifico, chiamato "valore chiave", all'interno di un array
- Questo processo di individuazione di un valore chiave è noto come "ricerca"
- Esistono diverse tecniche di ricerca, tra cui:
  - **Ricerca lineare**: una tecnica semplice che esamina ogni elemento dell'array in sequenza
  - **Ricerca binaria**: una tecnica più efficiente ma complessa, utilizzabile solo su array ordinati

Ricerca lineare in un array

```c
// fig06_14.c
// Ricerca lineare in un array.
#include <stdio.h>
#define SIZE 100

// prototipo di funzione
int linearSearch( const int array[], int key, size_t size);

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   int a[SIZE] = {0}; // crea l'array a

    // crea alcuni dati
    for (size_t x = 0; x < SIZE; ++x) {
       a[x] = 2 * x;
    }

    printf("Enter integer search key: ");
    int searchKey = 0; // valore da localizzare nell'array a
    scanf("%d", &searchKey);

    // tenta di localizzare searchKey nell'array a
    int subscript = linearSearch(a, searchKey, SIZE );

    // stampa i risultati
    if (subscript != -1) {
       printf("Found value at subscript %d\n", subscript);
    }
    else {
       puts("Value not found");
    }
}

// confronta la chiave con ogni elemento dell'array fino a quando non viene
// trovata la posizione o raggiunta la fine dell'array; restituisci l'indice
// dell'elemento se la chiave viene trovata o -1 se la chiave non viene trovata
int linearSearch( const int array[], int key, size_t size) {
   // ciclo attraverso l'array
    for ( size_t n = 0 ; n < size; ++n) {
       if (array[n] == key) {
          return n; // restituisci la posizione della chiave
       }
    }

    return -1 ; // chiave non trovata
}
```

```
Enter integer search key: 36
Found value at subscript 18


Enter integer search key: 37
Value not found
```

- Una ricerca lineare confronta ogni elemento dell'array con la **chiave di ricerca**
- Dal momento che l'array non è in un ordine particolare, è altrettanto probabile che il valore venga trovato nel primo elemento quanto nell'ultimo
- In media, dunque, il programma dovrà confrontare la chiave di ricerca con *metà* degli elementi dell'array

Fonte: Deitel & Deitel

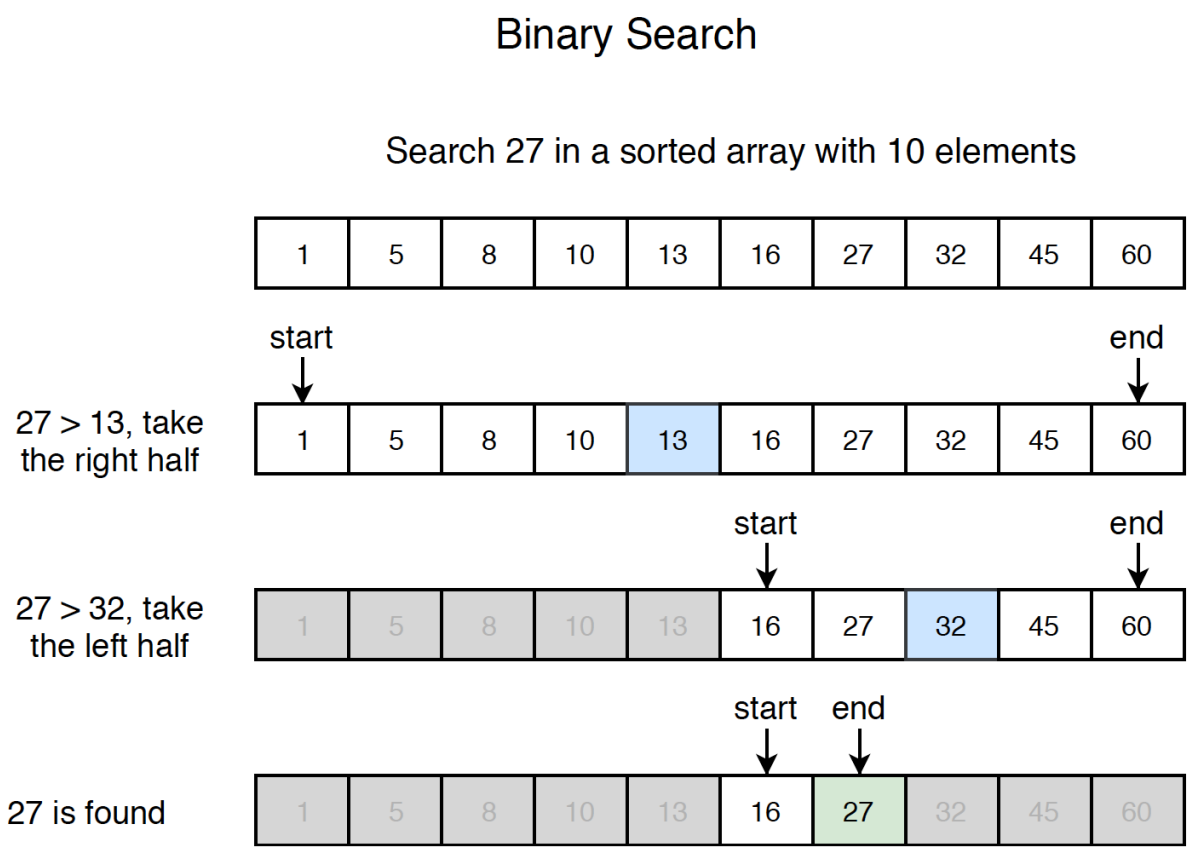
Ricerca binaria in un array ordinato

- La **ricerca lineare** è adatta per array piccoli o non ordinati, ma diventa inefficiente per array di grandi dimensioni
- Per array ordinati, è preferibile utilizzare la **ricerca binaria**, che è molto più veloce
- Dopo ogni confronto, elimina metà degli elementi dell'array ordinato dalla ricerca
- Trova l'elemento centrale dell'array e lo confronta con la chiave di ricerca

Ricerca binaria in un array ordinato

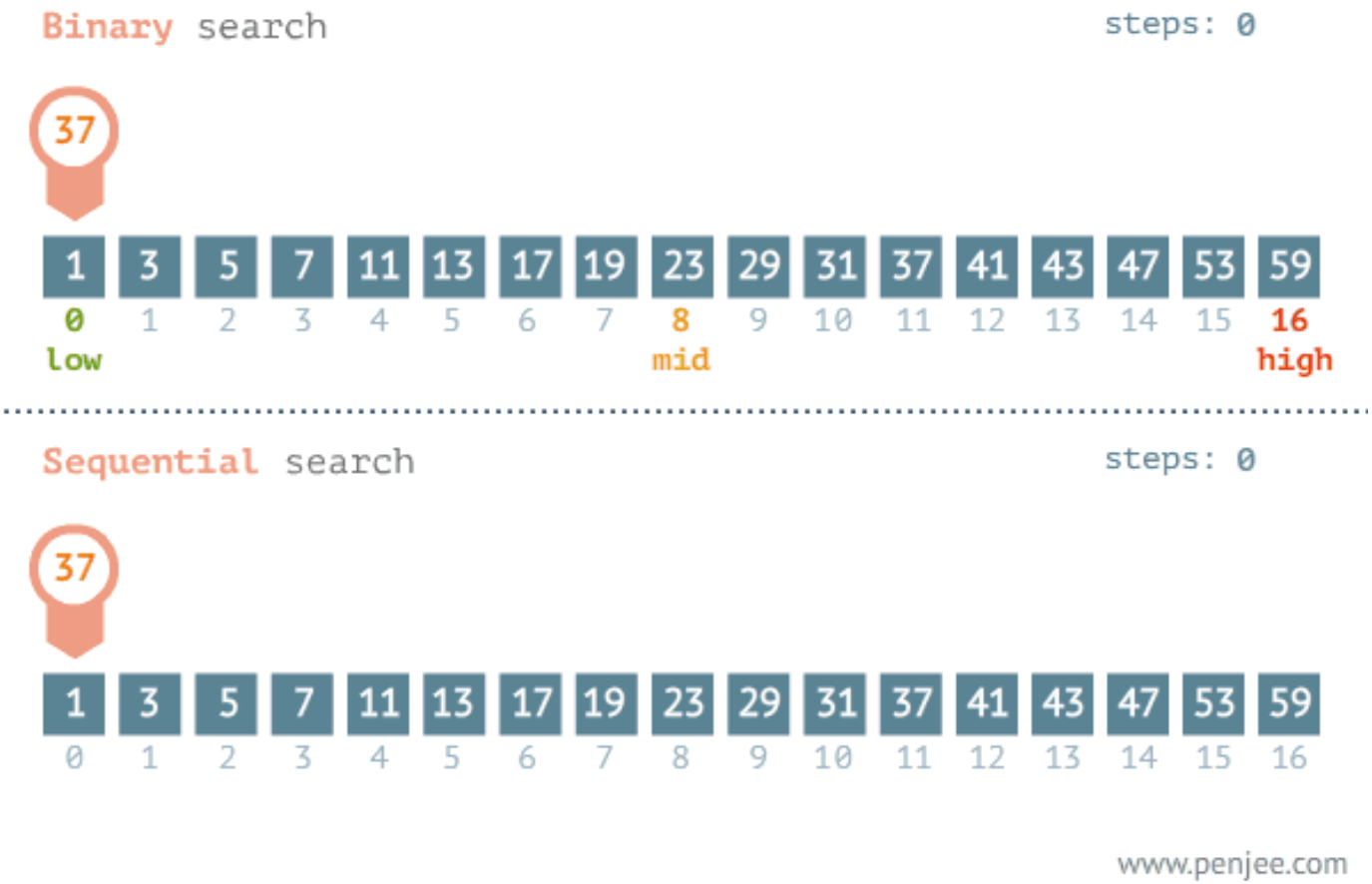
- Se la chiave di ricerca è uguale all'elemento centrale, l'algoritmo restituisce l'indice dell'elemento
- Se non sono uguali:
  - Se la chiave è minore dell'elemento centrale, ricerca nella prima metà dell'array
  - Se la chiave è maggiore, ricerca nella seconda metà dell'array
- La ricerca continua finché:
  - La chiave di ricerca è trovata nel sottoarray.
  - Oppure il sottoarray è ridotto a un solo elemento che non corrisponde alla chiave di ricerca (indicando che la chiave non è presente)

Ricerca binaria in un array ordinato



Fonte: https://jojozhuang.github.io/assets/images/algorithm/1211/binarysearch.png

Ricerca binaria in un array ordinato



Fonte: www.penjee.com

Ricerca binaria in un array ordinato

- Deitel code example `fig06_15.c`
- Nel **peggiore** dei casi, la ricerca binaria in un array di 1023 elementi richiede solo 10 confronti
- Questo perché dividendo ripetutamente 1024 per 2 si ottengono i valori 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1; servono 10 divisioni (corrispondenti a 10 confronti) per ridurre 1024 a 1
  - Un array ordinato di un **miliardo** di elementi richiede un massimo di soli **30 confronti** con la ricerca binaria
  - la ricerca lineare necessiterebbe di circa 500 milioni di confronti in media
- Il numero massimo di confronti necessari per una ricerca binaria in un array può essere determinato considerando la prima potenza di 2 maggiore del numero di elementi dell'array

Quiz

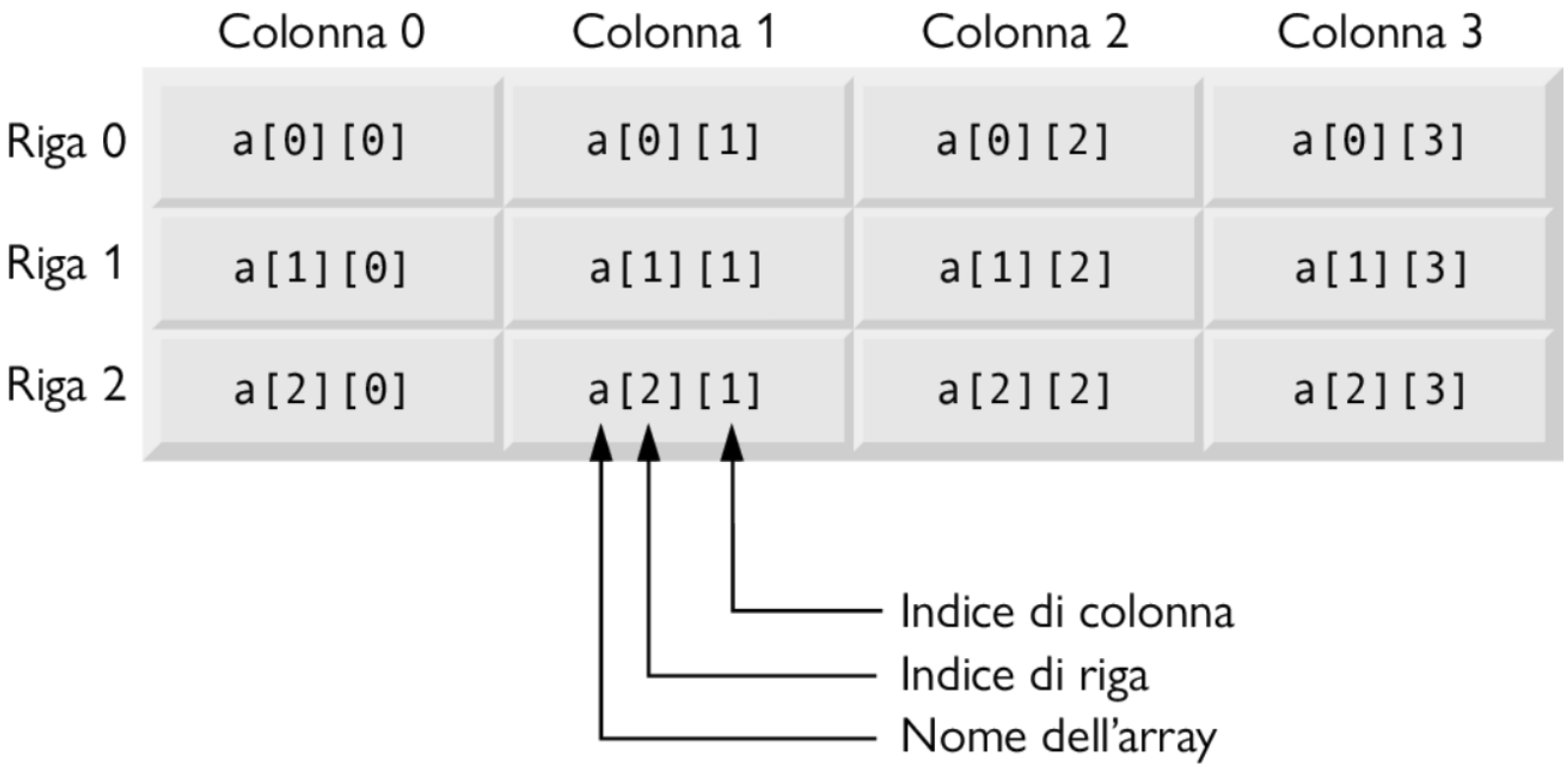
Caso pratico di introduzione alla data science: analisi dei dati di un sondaggio

- Deitel code example `06_13.c`
- Il programma utilizza un array chiamato `response` per memorizzare 99 risposte di un sondaggio, ognuna rappresentata da un numero tra 1 e 9
- Il programma calcola tre misure statistiche: la media, la mediana e la moda dei 99 valori raccolti
- L'esempio mostra diverse manipolazioni comuni con gli array, tra cui il passaggio di array come argomenti a funzioni
- Le righe 48-52 del programma contengono stringhe letterali separate da spazi: il compilatore C le combina automaticamente in una singola stringa, migliorando la leggibilità delle stringhe lunghe

Array multidimensionali

- Possono avere diversi indici
- Un uso comune è la rappresentazione di tabelle di valori (informazioni disposte in righe e colonne)
  - Array bidimensionali
- Per identificare un elemento si usano due indici:
  - Primo indice: identifica la riga dell'elemento
  - Secondo indice: identifica la colonna dell'elemento
- Gli array multidimensionali possono avere più di due indici

Array bidimensionali



Fonte: Deitel & Deitel

Array bidimensionali

- Ogni elemento è identificato da un nome della forma `a[i][j]`:
  - `a` è il nome dell'array.
  - `i` e `j` sono gli indici che identificano univocamente ogni elemento
- Esempi di indici:
  - Gli elementi nella riga 0 hanno il primo indice uguale a 0 (es. `a[0][j]`)
  - Gli elementi nella colonna 3 hanno il secondo indice uguale a 3 (es. `a[i][3]`).
- Riferirsi a un elemento come `a[x, y]` invece di `a[x][y]` è un **errore logico**
- In C, `a[x, y]` viene interpretato come `a[y]`:
  - Non è un errore di sintassi, ma di interpretazione logica
- L'operatore virgola valuta le espressioni da sinistra a destra
- Il valore dell'intera espressione separata da virgole è dato dall'espressione più a destra

Array bidimensionali

```c
// fig06_16.c
// Inizializzazione di array multidimensionali.
#include <stdio.h>

void printArray(int a[][3]); // prototipo di funzione

// la funzione main inizia l'esecuzione del programma
int main(void) {
   int array1[ 2 ][ 3 ] = {{ 1 , 2 , 3 }, { 4 , 5 , 6 }};
   puts("Values in array1 by row are:");
   printArray(array1);

    int array2[ 2 ][ 3 ] = {{ 1 , 2 , 3 }, { 4 , 5 }};
    puts("Values in array2 by row are:");
    printArray(array2);

    int array3[ 2 ][ 3 ] = {{ 1 , 2 }, { 4 }};
    puts("Values in array3 by row are:");
    printArray(array3);
 }

 // funzione per stampare un array con due righe e tre colonne
 void printArray( int a[][ 3 ] ) {
    // iterazione per righe
    for (size_t i = 0; i <= 1; ++i) {
       // stampa i valori delle colonne
       for (size_t j = 0; j <= 2; ++j) {
          printf("%d ", a[i][j] );
       }

       printf("\n"); // inizia una nuova riga di stampa
    }
 }
```

```
Values in array1 by row are:
1 2 3
4 5 6
Values in array2 by row are:
1 2 3
4 5 0
Values in array3 by row are:
1 2 0
4 0 0
```

Fonte: Deitel & Deitel

Stampare un array

```
void printArray(int a[][3])
```

- Utilizzata per stampare gli elementi di ogni array
- Il parametro array è definito come `int a[][3]`
  - In un array unidimensionale, le parentesi dell'array sono vuote (`int a[]`)
  - Per un array multidimensionale, solo il **primo indice** può essere omesso; tutti gli altri indici devono essere specificati
- Il compilatore utilizza gli indici per determinare le posizioni di memoria degli elementi degli array multidimensionali
- Gli elementi di un array sono **memorizzati consecutivamente** in memoria, indipendentemente dal numero di indici
- In un array bidimensionale la **prima riga** è memorizzata per prima, seguita dalla **seconda riga**, e così via.

Array bidimensionali e memoria

- Specificare i valori degli indici nella dichiarazione del parametro consente al compilatore di determinare la posizione di ogni elemento
- Ogni riga in un array bidimensionale è un **array unidimensionale**.
- Per localizzare un elemento in una riga specifica, il compilatore deve conoscere il numero di elementi per riga:
  - Permette di "saltare" il numero corretto di locazioni di memoria per accedere all'elemento desiderato
- **Esempio**: Per accedere a `a[1][2]`:
  - Il compilatore "salta" i tre elementi della **prima riga** per raggiungere la **seconda riga** (riga 1)
  - Poi accede all'**elemento 2** di quella riga

Impostare gli elementi in una riga

```
for (int column = 0; column <= 3; ++column) {
a[2][column] = 0;
}
```

- L'istruzione seguente imposta a zero tutti gli elementi nella riga 2 di un array 3x4 di tipo `int`
- Il ciclo varia solo l'**indice della colonna** (`column`)
- Equivalente a:

```
a[2][0] = 0;
a[2][1] = 0;
a[2][2] = 0;
a[2][3] = 0;
```

Calcolare il totale degli elementi in un array bidimensionale

```
int total = 0;
for (int row = 0; row <= 2; ++row) {
   for (int column = 0; column <= 3; ++column) {
         total += a[row][column];
   }
}
```

- La struttura `for` calcola il totale degli elementi una riga alla volta
- Istruzione `for` esterna:
  - Imposta l'indice `row` a 0 per iniziare a sommare gli elementi della prima riga.
  - Incrementa `row` a 1 per sommare gli elementi della seconda riga
  - Incrementa `row` a 2 per sommare gli elementi della terza riga
- Istruzione for interna:
  - Somma tutti gli elementi della riga corrente specificata da `row`
- Alla fine del ciclo for annidato, la variabile `total` contiene la somma di tutti gli elementi dell'array `a`

Manipolazioni di un array bidimensionale

- Deitel code example `fig06_17.c`
- Il programma usa istruzioni for per eseguire diverse manipolazioni comuni sull'array 3-per-4 `studentGrades`
- Ogni riga rappresenta uno studente, e ogni colonna rappresenta un voto a uno dei quattro esami che gli studenti hanno sostenuto durante il semestre
- Le manipolazioni dell'array sono eseguite da quattro funzioni:
  - La funzione `minimum` (righe 38-52) trova il voto più basso fra quelli di tutti gli studenti nel semestre
  - La funzione `maximum` (righe 55-69) trova il voto più alto fra quelli di tutti gli studenti nel semestre
  - La funzione `average` (righe 72-81) calcola la media nel semestre di un particolare studente
  - La funzione `printArray` (righe 84-98) stampa l'array bidimensionale in un formato tabellare ordinato

Array di lunghezza variabile

- Fino a ora, la dimensione degli array è stata specificata al momento della compilazione
- Se la dimensione di un array non può essere determinata fino al momento dell'esecuzione:
  - In passato, si utilizzava l'allocazione dinamica di memoria
- C supporta gli array di lunghezza variabile (Variable-Length Array, VLA):
  - La lunghezza degli array VLA è determinata da espressioni calcolate durante l'esecuzione
- Deitel code example `fig06_18.c`

Recap

- Introduzione agli array
- Uso di array di caratteri per le stringhe
- Array locali statici ed automatici
- Passare gli array alle funzioni
- Ordinamento di array
- Ricerca in array
- Array multidimensionali
- Array di lunghezza variabile