

Corso “Programmazione 1”

Capitolo 06: Gli Array

Docente: **Roberto Sebastiani** - roberto.sebastiani@unitn.it
Esercitori: **Mario Passamani** - mario.passamani@unitn.it
Alessandro Tomasi - alessandro.tomasi@unitn.it
C.D.L.: Informatica (INF)
Ing. Informatica, delle Comunicazioni ed Elettronica (ICE)
Studenti con numero di matricola pari
A.A.: 2019-2020
Luogo: DISI, Università di Trento
URL: disi.unitn.it/rseba/DIDATTICA/progl_2020/

Outline

1 Definizione ed Utilizzo di Array

2 Array e Funzioni

3 Array Ordinati

4 Array Multi-Dimensionali

5 Array e Puntatori

6 Array, Puntatori e Funzioni

Outline

1 Definizione ed Utilizzo di Array

2 Array e Funzioni

3 Array Ordinati

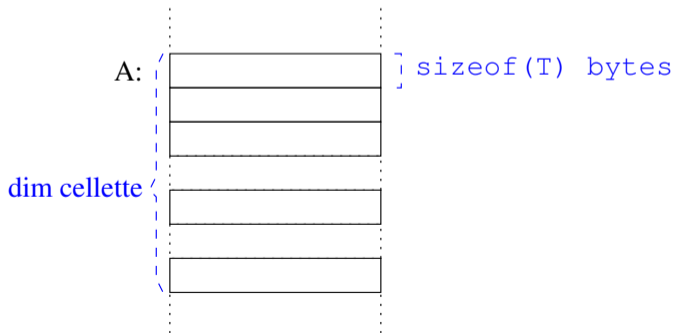
4 Array Multi-Dimensionali

5 Array e Puntatori

6 Array, Puntatori e Funzioni

Tipi e Variabili Array

- **Array**: sequenza finita di elementi consecutivi dello stesso tipo.
- il numero di elementi di un array (**dimensione**) è fissata a priori
- per un array di tipo `T` e dimensione `dim`, il compilatore alloca `dim` celle consecutive di `sizeof(T)` bytes (**allocazione statica**)
- un array rappresenta l'indirizzo del primo elemento della sequenza



Definizione ed Inizializzazione di Array

- Sintassi definizione:

- `tipo id[dim];`
- `tipo id[dim]={lista_valori};`
- `tipo id[]={lista_valori};`

- Esempi:

```
double a[25]; //array di 25 double
const int c=2;
char b[2*c]={'a','e','i','o'}; // dimensione 4
char d[]={ 'a','e','i','o','u'}; // dimensione 5
```

- La **dimensione** dell'array deve essere valutabile **al momento della compilazione**:
 - **esplicitamente**, tramite l'espressione costante `dim`
 - **implicitamente**, tramite la dimensione della lista di inizializzazione
- Se mancano elementi nella lista di inizializzazione, il corrispondente valore viene inizializzato allo **zero del tipo T**

Operazioni non lecite sugli array

- Sugli array **non** sono definite operazioni **aritmetiche**, **di assegnamento**, **di input**
- Le operazioni **di confronto** e **di output** sono definite, ma danno risultati imprevedibili

⇒ per tutte queste operazioni è necessario scrivere funzioni ad-hoc

```
int a[4] = {1,2,3,4};
int b[4] = {1,2,3,4};
// a++;           // ERRORE IN COMPILAZIONE
// a=b;          // ERRORE IN COMPILAZIONE
// cin >> a;     // ERRORE IN COMPILAZIONE
cout << (a==b) << endl; // COMPILA, MA DA' FALSE
cout << (a<=b) << endl; // COMPILA, MA IMPREVEDIBILE
cout << a << endl;      // COMPILA, MA IMPREVEDIBILE
```

esempio di cui sopra, espanso:

```
{ ARRAY/array.cc }
```

Operazioni sugli array: selezione con indice

L'unica operazione definita sugli array è la **selezione con indice** (subscripting), ottenuta nella forma:

`identifier[expression]`

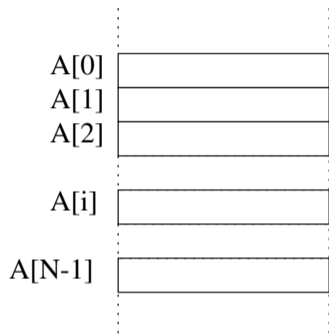
- `identifier` è il nome dell'array
- il valore di `expression`, è l'**indice** dell'elemento
 - è di tipo discreto (convertibile in intero)
 - è un'espressione variabile!!

Es: `v[100]` diversissimo da `v0, . . . , v99`, posso usare `v[i]`

- `identifier[expression]` è un'espressione dotata di indirizzo
⇒ può ricevere un input, essere assegnata, passata per riferimento, ecc.

```
cin >> a[i];  
a[n+3]=3*2;  
scambia(a[i], a[i+1]);
```

Range degli array



- Gli elementi di un array di dimensione N sono numerati da 0 a $N-1$
- Esempio: se i vale 3 , $a[i]=7$ assegna il **quarto** elemento di a a 7

Esempi: uso di array e range

- lettura di un valore, stampa in ordine inverso:
{ ARRAY/array2_mia.cc }
- ... con errore sul range (problema tipico):
{ ARRAY/array2_errata.cc }

Esempi: uso di array e range

- lettura di un valore, stampa in ordine inverso:
{ ARRAY/array2_mia.cc }
- ... con errore sul range (problema tipico):
{ ARRAY/array2_errata.cc }

Esempi: inizializzazione di array e range

- **inizializzazione:**
{ ARRAY/array3.cc }
- ... (errore: il range di un array inizia da 0):
{ ARRAY/array3_err.cc }
- ... senza esplicitazione della dimensione:
{ ARRAY/array3_bis.cc }
- **inizializzazione a zero di default:**
{ ARRAY/array4.cc }
- **inizializzazione a tutti zero di default:**
{ ARRAY/array4_bis.cc }
- **vettore non inizializzato:**
{ ARRAY/array5.cc }

Esempi: inizializzazione di array e range

- **inizializzazione:**
{ ARRAY/array3.cc }
- **... (errore: il range di un array inizia da 0):**
{ ARRAY/array3_err.cc }
- **... senza esplicitazione della dimensione:**
{ ARRAY/array3_bis.cc }
- **inizializzazione a zero di default:**
{ ARRAY/array4.cc }
- **inizializzazione a tutti zero di default:**
{ ARRAY/array4_bis.cc }
- **vettore non inizializzato:**
{ ARRAY/array5.cc }

Esempi: inizializzazione di array e range

- **inizializzazione:**
{ ARRAY/array3.cc }
- **... (errore: il range di un array inizia da 0):**
{ ARRAY/array3_err.cc }
- **... senza esplicitazione della dimensione:**
{ ARRAY/array3_bis.cc }
- **inizializzazione a zero di default:**
{ ARRAY/array4.cc }
- **inizializzazione a tutti zero di default:**
{ ARRAY/array4_bis.cc }
- **vettore non inizializzato:**
{ ARRAY/array5.cc }

Esempi: inizializzazione di array e range

- **inizializzazione:**
{ ARRAY/array3.cc }
- ... (errore: il range di un array inizia da 0):
{ ARRAY/array3_err.cc }
- ... **senza esplicitazione della dimensione:**
{ ARRAY/array3_bis.cc }
- **inizializzazione a zero di default:**
{ ARRAY/array4.cc }
- **inizializzazione a tutti zero di default:**
{ ARRAY/array4_bis.cc }
- **vettore non inizializzato:**
{ ARRAY/array5.cc }

Esempi: inizializzazione di array e range

- **inizializzazione:**
{ ARRAY/array3.cc }
- **... (errore: il range di un array inizia da 0):**
{ ARRAY/array3_err.cc }
- **... senza esplicitazione della dimensione:**
{ ARRAY/array3_bis.cc }
- **inizializzazione a zero di default:**
{ ARRAY/array4.cc }
- **inizializzazione a tutti zero di default:**
{ ARRAY/array4_bis.cc }
- **vettore non inizializzato:**
{ ARRAY/array5.cc }

Esempi: inizializzazione di array e range

- **inizializzazione:**
{ ARRAY/array3.cc }
- **... (errore: il range di un array inizia da 0):**
{ ARRAY/array3_err.cc }
- **... senza esplicitazione della dimensione:**
{ ARRAY/array3_bis.cc }
- **inizializzazione a zero di default:**
{ ARRAY/array4.cc }
- **inizializzazione a tutti zero di default:**
{ ARRAY/array4_bis.cc }
- **vettore non inizializzato:**
{ ARRAY/array5.cc }

Attenzione: Uscita dal range di un array

In C++, l'operatore “[]” permette di “uscire” dal range $0 \dots \text{dim}-1$ di un'array!

```
int A[dim]; int i=0;
A[i-1];    // cella sizeof(int) bytes prima di A[0]
A[i+dim];  // cella sizeof(int) bytes dopo A[dim-1]
```

⇒ Effetti potenzialmente catastrofici in caso di errore

⇒ È responsabilità del programmatore garantire che un operazione di subscripting non esca mai dal range di un'array!

- Esempio:

errore, fuori range: catastrofico: va a sovrascrivere su una variabile ma non rivelato!

(usare `-fno-stack-protector`):

```
{ ARRAY/array3_errato.cc }
```

Outline

1 Definizione ed Utilizzo di Array

2 Array e Funzioni

3 Array Ordinati

4 Array Multi-Dimensionali

5 Array e Puntatori

6 Array, Puntatori e Funzioni

Funzione con parametri di tipo array

- Una funzione può avere un parametro formale del tipo “array di T”
 - Es: `float sum(float v[], int n) ...`
 - tipicamente si omette la dimensione (“float v[]”, non “float v[dim]”)
 - tipicamente associato al numero di elementi effettivamente utilizzati (dimensione virtuale)
- Il corrispondente parametro attuale è un array di oggetti di tipo T
 - Es:

```
float v[DIM]; int n;  
(...)  
x = sum(a, n);
```
- nel passaggio, gli elementi dell'array **non vengono copiati**
 - N.B. viene copiato solo l'indirizzo del primo elemento
 - Equivalente a passare gli elementi dell'array **per riferimento**
 - È possibile impedire di modificarli usando la parola chiave `const`

Nota

Con allocazione statica di array, tipicamente si definiscono array sufficientemente grandi, e poi se ne usa di volta in volta solo una parte.

Funzione con parametri di tipo array

- Una funzione può avere un parametro formale del tipo “array di T”
 - Es: `float sum(float v[], int n) ...`
 - tipicamente si omette la dimensione (“float v[]”, non “float v[dim]”)
 - tipicamente associato al numero di elementi effettivamente utilizzati (dimensione virtuale)
- Il corrispondente parametro attuale è un array di oggetti di tipo T
 - Es:

```
float v[DIM]; int n;  
(...)  
x = sum(a, n);
```
- nel passaggio, gli elementi dell'array **non vengono copiati**
 - N.B. viene copiato solo l'indirizzo del primo elemento
 - Equivalente a passare gli elementi dell'array **per riferimento**
 - È possibile impedire di modificarli usando la parola chiave `const`

Nota

Con allocazione statica di array, tipicamente si definiscono array sufficientemente grandi, e poi se ne usa di volta in volta solo una parte.

Funzione con parametri di tipo array

- Una funzione può avere un parametro formale del tipo “array di T”
 - Es: `float sum(float v[], int n) ...`
 - tipicamente si omette la dimensione (“float v[]”, non “float v[dim]”)
 - tipicamente associato al numero di elementi effettivamente utilizzati (dimensione virtuale)
- Il corrispondente parametro attuale è un array di oggetti di tipo T
 - Es:

```
float v[DIM]; int n;  
(...)  
x = sum(a, n);
```
- nel passaggio, gli elementi dell'array **non vengono copiati**
 - N.B. viene copiato solo l'indirizzo del primo elemento
 - Equivalente a passare gli elementi dell'array **per riferimento**
 - È possibile impedire di modificarli usando la parola chiave `const`

Nota

Con allocazione statica di array, tipicamente si definiscono array sufficientemente grandi, e poi se ne usa di volta in volta solo una parte.

Funzione con parametri di tipo array

- Una funzione può avere un parametro formale del tipo “array di T”
 - Es: `float sum(float v[], int n) ...`
 - tipicamente si omette la dimensione (“float v[]”, non “float v[dim]”)
 - tipicamente associato al numero di elementi effettivamente utilizzati (dimensione virtuale)
- Il corrispondente parametro attuale è un array di oggetti di tipo T
 - Es:

```
float v[DIM]; int n;  
(...)  
x = sum(a, n);
```
- nel passaggio, gli elementi dell'array **non vengono copiati**
 - N.B. viene copiato solo l'indirizzo del primo elemento
 - Equivalente a passare gli elementi dell'array **per riferimento**
 - È possibile impedire di modificarli usando la parola chiave `const`

Nota

Con allocazione statica di array, tipicamente si definiscono array sufficientemente grandi, e poi se ne usa di volta in volta solo una parte.

Funzione con parametri di tipo array

- Una funzione può avere un parametro formale del tipo “array di T”
 - Es: `float sum(float v[], int n) ...`
 - tipicamente si omette la dimensione (“float v[]”, non “float v[dim]”)
 - tipicamente associato al numero di elementi effettivamente utilizzati (dimensione virtuale)
- Il corrispondente parametro attuale è un array di oggetti di tipo T
 - Es:

```
float v[DIM]; int n;  
(...)  
x = sum(a, n);
```
- nel passaggio, gli elementi dell'array **non vengono copiati**
 - N.B. viene copiato solo l'indirizzo del primo elemento
 - Equivalente a passare gli elementi dell'array **per riferimento**
 - È possibile impedire di modificarli usando la parola chiave `const`

Nota

Con allocazione statica di array, tipicamente si definiscono array sufficientemente grandi, e poi se ne usa di volta in volta solo una parte.

Passaggio di parametri array costanti

- È possibile definire passaggi di array **in sola lettura** (**passaggio di array costante**)
 - Sintassi: `(const tipo identificatore [], ...)`
 - Es: `int print(const int v[], ...) (...) {...}`
- Passaggio di array: il contenuto dell'array non viene duplicato
⇒ evita possibile spreco di tempo CPU e memoria
- **Non permette di modificare gli elementi di v!**
 - Es: `v[3] = 5; // ERRORE!`
 - ⇒ passaggio di informazione **solo dalla chiamante alla chiamata**
 - ⇒ solo un input alla funzione
- Usato per passare array **in input** alla funzione
 - efficiente (no spreco di CPU e memoria)
 - evita errori
 - permette di individuare facilmente gli input della funzione

Passaggio di parametri array costanti

- È possibile definire passaggi di array **in sola lettura** (**passaggio di array costante**)
 - Sintassi: `(const tipo identificatore [], ...)`
 - Es: `int print(const int v[], ...) (...) {...}`
- Passaggio di array: il contenuto dell'array non viene duplicato
⇒ evita possibile spreco di tempo CPU e memoria
- **Non permette di modificare gli elementi di v!**
 - Es: `v[3] = 5; // ERRORE!`
 - ⇒ passaggio di informazione **solo dalla chiamante alla chiamata**
 - ⇒ solo un input alla funzione
- Usato per passare array **in input** alla funzione
 - efficiente (no spreco di CPU e memoria)
 - evita errori
 - permette di individuare facilmente gli input della funzione

Passaggio di parametri array costanti

- È possibile definire passaggi di array **in sola lettura** (**passaggio di array costante**)
 - Sintassi: `(const tipo identificatore [], ...)`
 - Es: `int print(const int v[], ...) (...) {...}`
- Passaggio di array: il contenuto dell'array non viene duplicato
⇒ evita possibile spreco di tempo CPU e memoria
- **Non permette di modificare gli elementi di v!**
 - Es: `v[3] = 5; // ERRORE!`
 - ⇒ passaggio di informazione **solo dalla chiamante alla chiamata**
 - ⇒ solo un input alla funzione
- Usato per passare array **in input** alla funzione
 - efficiente (no spreco di CPU e memoria)
 - evita errori
 - permette di individuare facilmente gli input della funzione

Passaggio di parametri array costanti

- È possibile definire passaggi di array **in sola lettura** (**passaggio di array costante**)
 - Sintassi: `(const tipo identificatore [], ...)`
 - Es: `int print(const int v[], ...) (...)` {...}
- Passaggio di array: il contenuto dell'array non viene duplicato
⇒ evita possibile spreco di tempo CPU e memoria
- **Non permette di modificare gli elementi di v!**
 - Es: `v[3] = 5; // ERRORE!`
 - ⇒ passaggio di informazione **solo dalla chiamante alla chiamata**
 - ⇒ solo un input alla funzione
- Usato per passare array **in input** alla funzione
 - efficiente (no spreco di CPU e memoria)
 - evita errori
 - permette di individuare facilmente gli input della funzione

Esempi

- passaggio di vettori, i/o di vettori, norma 1, somma, concatenazione di vettori:
{ ARRAY/leggimanipolaarray.cc }

Array e funzioni ricorsive

- E frequente effettuare operazioni **ricorsive** su array
 - Tipicamente il parametro di ricorsione definisce il range dei sotto-array correntemente analizzati
- somma di array 1 :
{ ARRAY/array_rec1_nocomment.cc }
- ..., chiamate tracciate:
{ ARRAY/array_rec1.cc }
- somma di array 2 :
{ ARRAY/array_rec2_nocomment.cc }
- ..., chiamate tracciate:
{ ARRAY/array_rec2.cc }
- somma di array 3 :
{ ARRAY/array_rec3_nocomment.cc }
- ..., chiamate tracciate:
{ ARRAY/array_rec3.cc }

Array e funzioni ricorsive

- E frequente effettuare operazioni **ricorsive** su array
 - Tipicamente il parametro di ricorsione definisce il range dei sotto-array correntemente analizzati
- **somma di array 1 :**
{ ARRAY/array_rec1_nocomment.cc }
- ..., chiamate tracciate:
{ ARRAY/array_rec1.cc }
- **somma di array 2 :**
{ ARRAY/array_rec2_nocomment.cc }
- ..., chiamate tracciate:
{ ARRAY/array_rec2.cc }
- **somma di array 3 :**
{ ARRAY/array_rec3_nocomment.cc }
- ..., chiamate tracciate:
{ ARRAY/array_rec3.cc }

Array e funzioni ricorsive

- E frequente effettuare operazioni **ricorsive** su array
 - Tipicamente il parametro di ricorsione definisce il range dei sotto-array correntemente analizzati
- **somma di array 1 :**
{ ARRAY/array_rec1_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec1.cc }
- **somma di array 2 :**
{ ARRAY/array_rec2_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec2.cc }
- **somma di array 3 :**
{ ARRAY/array_rec3_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec3.cc }

Array e funzioni ricorsive

- E frequente effettuare operazioni **ricorsive** su array
 - Tipicamente il parametro di ricorsione definisce il range dei sotto-array correntemente analizzati
- **somma di array 1 :**
{ ARRAY/array_rec1_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec1.cc }
- **somma di array 2 :**
{ ARRAY/array_rec2_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec2.cc }
- **somma di array 3 :**
{ ARRAY/array_rec3_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec3.cc }

Array e funzioni ricorsive

- E frequente effettuare operazioni **ricorsive** su array
 - Tipicamente il parametro di ricorsione definisce il range dei sotto-array correntemente analizzati
- **somma di array 1 :**
{ ARRAY/array_rec1_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec1.cc }
- **somma di array 2 :**
{ ARRAY/array_rec2_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec2.cc }
- **somma di array 3 :**
{ ARRAY/array_rec3_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec3.cc }

Array e funzioni ricorsive

- E frequente effettuare operazioni **ricorsive** su array
 - Tipicamente il parametro di ricorsione definisce il range dei sotto-array correntemente analizzati
- **somma di array 1 :**
{ ARRAY/array_rec1_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec1.cc }
- **somma di array 2 :**
{ ARRAY/array_rec2_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec2.cc }
- **somma di array 3 :**
{ ARRAY/array_rec3_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec3.cc }

Array e funzioni ricorsive

- E frequente effettuare operazioni **ricorsive** su array
 - Tipicamente il parametro di ricorsione definisce il range dei sotto-array correntemente analizzati
- **somma di array 1 :**
{ ARRAY/array_rec1_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec1.cc }
- **somma di array 2 :**
{ ARRAY/array_rec2_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec2.cc }
- **somma di array 3 :**
{ ARRAY/array_rec3_nocomment.cc }
- **..., chiamate tracciate:**
{ ARRAY/array_rec3.cc }

Esercizi proposti

Vedere file `ESERCIZI_PROPOSTI.txt`

Outline

1 Definizione ed Utilizzo di Array

2 Array e Funzioni

3 Array Ordinati

4 Array Multi-Dimensionali

5 Array e Puntatori

6 Array, Puntatori e Funzioni

Problema: ricerca di un elemento in un array

Quanti passi richiede in media il cercare un elemento in un array di N elementi?

- Con un array **generico**:

- $\approx N/2$ se l'elemento è presente, $\approx N$ se non è presente

$\implies O(N)$ (un numero proporzionale ad N)

- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 1.000.000$ passi

- **ricerca lineare**:

{ SORT/linear_search.cc }

- Su un array **ordinato**:

- $\leq \lceil \log_2(N) \rceil$ se l'elemento è presente, $\lceil \log_2(N) \rceil$ se non è presente

$\implies O(\log_2(N))$ (un numero proporzionale al logaritmo di N)

- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 20$ passi

- **ricerca binaria**:

{ SORT/binary_search.cc }

- ... **versione ricorsiva**:

{ SORT/binary_search_rec.cc }

\implies In molte applicazioni, è vitale mantenere un array ordinato

Problema: ricerca di un elemento in un array

Quanti passi richiede in media il cercare un elemento in un array di N elementi?

- Con un array **generico**:

- $\approx N/2$ se l'elemento è presente, $\approx N$ se non è presente

⇒ $O(N)$ (un numero proporzionale ad N)

- ES: $N = 1.000.000 \Rightarrow \leq 1.000.000$ passi

- **ricerca lineare:**

{ SORT/linear_search.cc }

- Su un array **ordinato**:

- $\leq \lceil \log_2(N) \rceil$ se l'elemento è presente, $\lceil \log_2(N) \rceil$ se non è presente

⇒ $O(\log_2(N))$ (un numero proporzionale al logaritmo di N)

- ES: $N = 1.000.000 \Rightarrow \leq 20$ passi

- **ricerca binaria:**

{ SORT/binary_search.cc }

- ... **versione ricorsiva:**

{ SORT/binary_search_rec.cc }

⇒ In molte applicazioni, è vitale mantenere un array ordinato

Problema: ricerca di un elemento in un array

Quanti passi richiede in media il cercare un elemento in un array di N elementi?

- Con un array **generico**:

- $\approx N/2$ se l'elemento è presente, $\approx N$ se non è presente

⇒ $O(N)$ (un numero proporzionale ad N)

- ES: $N = 1.000.000 \Rightarrow \leq 1.000.000$ passi

- **ricerca lineare:**

{ SORT/linear_search.cc }

- Su un array **ordinato**:

- $\leq \lceil \log_2(N) \rceil$ se l'elemento è presente, $\lceil \log_2(N) \rceil$ se non è presente

⇒ $O(\log_2(N))$ (un numero proporzionale al logaritmo di N)

- ES: $N = 1.000.000 \Rightarrow \leq 20$ passi

- **ricerca binaria:**

{ SORT/binary_search.cc }

- ... **versione ricorsiva:**

{ SORT/binary_search_rec.cc }

⇒ In molte applicazioni, è vitale mantenere un array ordinato

Problema: ricerca di un elemento in un array

Quanti passi richiede in media il cercare un elemento in un array di N elementi?

- Con un array **generico**:

- $\approx N/2$ se l'elemento è presente, $\approx N$ se non è presente

⇒ $O(N)$ (un numero proporzionale ad N)

- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 1.000.000$ passi

- **ricerca lineare:**

{ SORT/linear_search.cc }

- Su un array **ordinato**:

- $\leq \lceil \log_2(N) \rceil$ se l'elemento è presente, $\lceil \log_2(N) \rceil$ se non è presente

⇒ $O(\log_2(N))$ (un numero proporzionale al logaritmo di N)

- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 20$ passi

- **ricerca binaria:**

{ SORT/binary_search.cc }

- ... **versione ricorsiva:**

{ SORT/binary_search_rec.cc }

⇒ In molte applicazioni, è vitale mantenere un array ordinato

Metodi di ordinamento: Bubblesort

Moltissimi metodi di ordinamento

Bubblesort

- relativamente semplice:
- $O(N^2)$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 1.000.000.000.000$ passi (!)

- bubblesort semplice:
{ SORT/bubblesort_nocomment.cc }
- ... con passi tracciati:
{ SORT/bubblesort.cc }
- bubblesort ottimizzato:
{ SORT/bubblesort_opt.cc }

Metodi di ordinamento: Bubblesort

Moltissimi metodi di ordinamento

Bubblesort

- relativamente semplice:
- $O(N^2)$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 1.000.000.000.000$ passi (!)

- bubblesort semplice:
{ SORT/bubblesort_nocomment.cc }
- ... con passi tracciati:
{ SORT/bubblesort.cc }
- bubblesort ottimizzato:
{ SORT/bubblesort_opt.cc }

Metodi di ordinamento: Bubblesort

Moltissimi metodi di ordinamento

Bubblesort

- relativamente semplice:
- $O(N^2)$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 1.000.000.000.000$ passi (!)

- bubblesort semplice:
{ SORT/bubblesort_nocomment.cc }
- ... con passi tracciati:
{ SORT/bubblesort.cc }
- bubblesort ottimizzato:
{ SORT/bubblesort_opt.cc }

Metodi di ordinamento: Bubblesort

Moltissimi metodi di ordinamento

Bubblesort

- relativamente semplice:
- $O(N^2)$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 1.000.000.000.000$ passi (!)

- bubblesort semplice:
{ SORT/bubblesort_nocomment.cc }
- ... con passi tracciati:
{ SORT/bubblesort.cc }
- bubblesort ottimizzato:
{ SORT/bubblesort_opt.cc }

Metodi di ordinamento: Bubblesort

Moltissimi metodi di ordinamento

Bubblesort

- relativamente semplice:
- $O(N^2)$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 1.000.000.000.000$ passi (!)

- bubblesort semplice:
{ SORT/bubblesort_nocomment.cc }
- ... con passi tracciati:
{ SORT/bubblesort.cc }
- bubblesort ottimizzato:
{ SORT/bubblesort_opt.cc }

Metodi di ordinamento: Quicksort

Quicksort

- complesso
- $O(N \cdot \log_2(N))$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 20.000.000$ passi

- quicksort semplice:
{ SORT/quicksort_nocomment.cc }
- ... con passi tracciati:
{ SORT/quicksort.cc }
- quicksort, con randomizzazione:
{ SORT/quicksort_rand.cc }

Nota

Quicksort algoritmo intrinsecamente ricorsivo!

Metodi di ordinamento: Quicksort

Quicksort

- complesso
- $O(N \cdot \log_2(N))$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 20.000.000$ passi

- quicksort semplice:
{ SORT/quicksort_nocomment.cc }
- ... con passi tracciati:
{ SORT/quicksort.cc }
- quicksort, con randomizzazione:
{ SORT/quicksort_rand.cc }

Nota

Quicksort algoritmo intrinsecamente ricorsivo!

Metodi di ordinamento: Quicksort

Quicksort

- complesso
- $O(N \cdot \log_2(N))$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 20.000.000$ passi

- quicksort semplice:

 - { SORT/quicksort_nocomment.cc }

- ... con passi tracciati:

 - { SORT/quicksort.cc }

- quicksort, con randomizzazione:

 - { SORT/quicksort_rand.cc }

Nota

Quicksort algoritmo intrinsecamente ricorsivo!

Metodi di ordinamento: Quicksort

Quicksort

- complesso
- $O(N \cdot \log_2(N))$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 20.000.000$ passi

- quicksort semplice:

 - { SORT/quicksort_nocomment.cc }

- ... con passi tracciati:

 - { SORT/quicksort.cc }

- quicksort, con randomizzazione:

 - { SORT/quicksort_rand.cc }

Nota

Quicksort algoritmo intrinsecamente ricorsivo!

Metodi di ordinamento: Quicksort

Quicksort

- complesso
- $O(N \cdot \log_2(N))$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 20.000.000$ passi

- quicksort semplice:
{ SORT/quicksort_nocomment.cc }
- ... con passi tracciati:
{ SORT/quicksort.cc }
- quicksort, con randomizzazione:
{ SORT/quicksort_rand.cc }

Nota

Quicksort algoritmo intrinsecamente ricorsivo!

Metodi di ordinamento: Quicksort

Quicksort

- complesso
- $O(N \cdot \log_2(N))$ passi in media
- ES: $N = 1.000.000 \implies \leq 20.000.000$ passi

- quicksort semplice:

 - { SORT/quicksort_nocomment.cc }

- ... con passi tracciati:

 - { SORT/quicksort.cc }

- quicksort, con randomizzazione:

 - { SORT/quicksort_rand.cc }

Nota

Quicksort algoritmo intrinsecamente ricorsivo!

Altre operazioni su array ordinati

Fusione ordinata di due array ordinati (merging)

- ES: $merge([1\ 3\ 4\ 8], [2\ 3\ 5\ 6]) \implies [1\ 2\ 3\ 3\ 4\ 6\ 8]$
- $O(N_1 + N_2)$
- merging:
{ SORT/merge.cc }

Inserimento di un elemento in un array ordinato

- ES: $insert, 5, [1\ 3\ 4\ 8]) \implies [1\ 3\ 4\ 5\ 8]$
- $O(N)$
- Equivalente a $merge([5], [1\ 3\ 4\ 8])$

Altre operazioni su array ordinati

Fusione ordinata di due array ordinati (merging)

- ES: $merge([1\ 3\ 4\ 8], [2\ 3\ 5\ 6]) \implies [1\ 2\ 3\ 3\ 4\ 6\ 8]$
- $O(N_1 + N_2)$
- merging:
{ SORT/merge.cc }

Inserimento di un elemento in un array ordinato

- ES: $insert, 5, [1\ 3\ 4\ 8]) \implies [1\ 3\ 4\ 5\ 8]$
- $O(N)$
- Equivalente a $merge([5], [1\ 3\ 4\ 8])$

Esercizi proposti

Vedere file `ESERCIZI_PROPOSTI.txt`

Outline

1 Definizione ed Utilizzo di Array

2 Array e Funzioni

3 Array Ordinati

4 Array Multi-Dimensionali

5 Array e Puntatori

6 Array, Puntatori e Funzioni

Array multidimensionali

- In C++ è possibile dichiarare array i cui elementi siano a loro volta degli array, generando degli **array multidimensionali** (matrici)

- Sintassi:

```
tipo id[dim1][dim2]...[dimN];
```

```
tipo id[dim1][dim2]...[dimN]={lista_valori};
```

```
tipo id[][dim2]...[dimN]={lista_valori};
```

⇒ un array multidimensionale $dim_1 \cdot \dots \cdot dim_n$ può essere pensato come un array di dim_1 array multidimensionali $dim_2 \cdot \dots \cdot dim_n$

- Esempio:

```
int MAT[2][3];
```

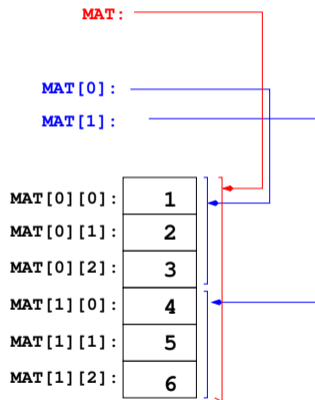
```
int MAT[2][3] = {{1, 2, 3}, {4, 5, 6}};
```

```
int MAT[][3] = {{1, 2, 3}, {4, 5, 6}};
```

- Le **dimensioni** devono essere valutabili durante la compilazione
- Elementi mancanti vengono sostituiti da zeri

Struttura di un array bidimensionale (statico)

```
int MAT[2][3] = {{1,2,3},{4,5,6}};
```



Esempio matrice statica:

```
{ MATRICI/matrix_sta.cc }
```

Esempi: inizializzazione di array bidimensionali

- con inizializzazione:
{ `MATRICI/def_mat1.cc` }
- con inizializzazione parziale:
{ `MATRICI/def_mat2.cc` }
- con inizializzazione parziale (2):
{ `MATRICI/def_mat3.cc` }
- con inizializzazione, senza valore iniziale:
{ `MATRICI/def_mat4.cc` }
- inizializzazione: errore:
{ `MATRICI/def_mat5.cc` }

Esempi: inizializzazione di array bidimensionali

- con inizializzazione:
{ `MATRICI/def_mat1.cc` }
- con inizializzazione parziale:
{ `MATRICI/def_mat2.cc` }
- con inizializzazione parziale (2):
{ `MATRICI/def_mat3.cc` }
- con inizializzazione, senza valore iniziale:
{ `MATRICI/def_mat4.cc` }
- inizializzazione: errore:
{ `MATRICI/def_mat5.cc` }

Esempi: inizializzazione di array bidimensionali

- con inizializzazione:
{ `MATRICI/def_mat1.cc` }
- con inizializzazione parziale:
{ `MATRICI/def_mat2.cc` }
- con inizializzazione parziale (2):
{ `MATRICI/def_mat3.cc` }
- con inizializzazione, senza valore iniziale:
{ `MATRICI/def_mat4.cc` }
- inizializzazione: errore:
{ `MATRICI/def_mat5.cc` }

Esempi: inizializzazione di array bidimensionali

- con inizializzazione:
{ `MATRICI/def_mat1.cc` }
- con inizializzazione parziale:
{ `MATRICI/def_mat2.cc` }
- con inizializzazione parziale (2):
{ `MATRICI/def_mat3.cc` }
- con inizializzazione, senza valore iniziale:
{ `MATRICI/def_mat4.cc` }
- inizializzazione: errore:
{ `MATRICI/def_mat5.cc` }

Esempi: inizializzazione di array bidimensionali

- con inizializzazione:
{ `MATRICI/def_mat1.cc` }
- con inizializzazione parziale:
{ `MATRICI/def_mat2.cc` }
- con inizializzazione parziale (2):
{ `MATRICI/def_mat3.cc` }
- con inizializzazione, senza valore iniziale:
{ `MATRICI/def_mat4.cc` }
- inizializzazione: errore:
{ `MATRICI/def_mat5.cc` }

Esempi: passaggio di array bidimensionali a funzioni

- solo una dimensione fissa, utilizzate in parte:
{ `MATRICI/matrix3.cc` }
- Err: (è necessario passare la dimensione):
{ `MATRICI/matrix3_err.cc` }

Esempi: passaggio di array bidimensionali a funzioni

- solo una dimensione fissa, utilizzate in parte:
{ `MATRICI/matrix3.cc` }
- Err: (è necessario passare la dimensione):
{ `MATRICI/matrix3_err.cc` }

Outline

1 Definizione ed Utilizzo di Array

2 Array e Funzioni

3 Array Ordinati

4 Array Multi-Dimensionali

5 Array e Puntatori

6 Array, Puntatori e Funzioni

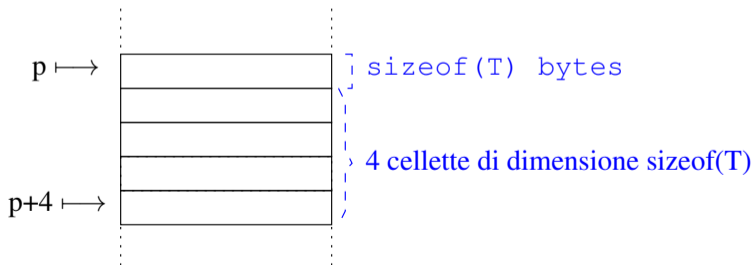
Aritmetica di Puntatori ed Indirizzi (richiamo)

Gli indirizzi e i puntatori hanno un'aritmetica:

se p è di tipo $*T$ e i è un intero, allora:

- $p+i$ è di tipo $*T$ ed è l'indirizzo di un oggetto di tipo T che si trova in memoria dopo i posizioni di dimensione `sizeof(T)`
- analogo discorso vale per $p++$, $++p$, $p--$, $--p$, $p+=i$, ecc.

⇒ i viene implicitamente moltiplicato per `sizeof(T)`

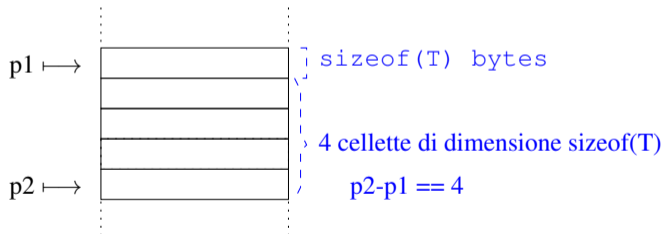


Aritmetica di Puntatori ed Indirizzi (richiamo) II

se p_1 , p_2 sono di tipo $*T$, allora:

- $p_2 - p_1$ è un intero ed è il numero di posizioni di dimensione `sizeof(T)` per cui p_1 precede p_2 (negativo se p_2 precede p_1)
- si possono applicare operatori di confronto $p_1 < p_2$, $p_1 >= p_2$, ecc.

$\implies p_2 - p_1$ viene implicitamente diviso per `sizeof(T)`

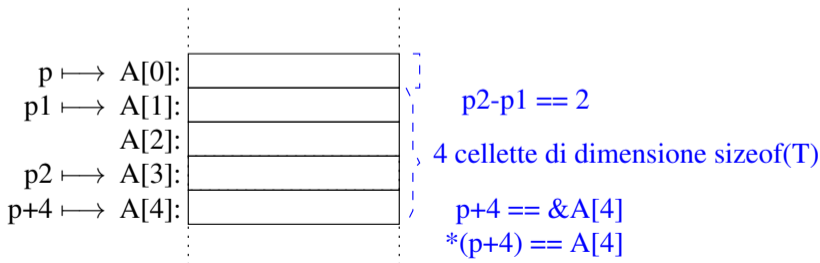


Esempio di operazioni aritmetiche su puntatori (richiamo):

```
{ ARRAY_PUNT/aritmetica_punt.cc }
```

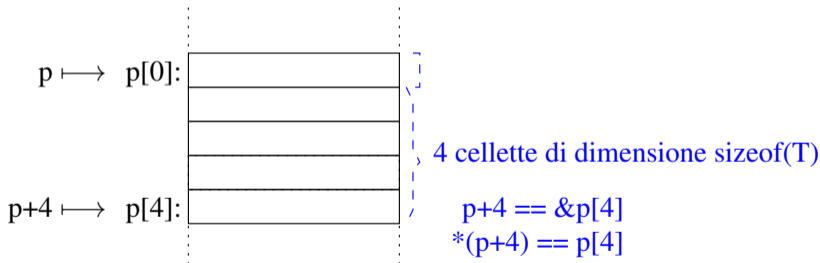
Puntatori ad elementi di un array

- Se un puntatore p punta al primo elemento di un array A , l'espressione $p+i$ è l'indirizzo dell' i -esimo elemento dell'array A
 \implies valgono $p+i == \&A[i]$ e $*(p+i) == A[i]$
- Se due puntatori dello stesso tipo p_1, p_2 puntano ad elementi di uno stesso array, p_2-p_1 denota il numero di elementi compresi tra p_1 e p_2 (p_2-p_1 negativo se p_2 precede p_1)



Array e puntatori

- Il nome di un array è (implicitamente equivalente a) una costante puntatore al primo elemento dell'array stesso
- se p è un il nome di puntatore o di un array, le espressioni $\&p[i]$ e $p+i$ sono equivalenti, come lo sono $p[i]$ e $*(p+i)$



Esempi

- **relazione tra array e puntatori:**
{ ARRAY_PUNT/punt_vett.cc }
- **idem, con doppio avanzamento:**
{ ARRAY_PUNT/punt_vett1.cc }
- **scansione array con puntatori:**
{ ARRAY_PUNT/scansione_array.cc }
- **..., variante:**
{ ARRAY_PUNT/scansione_array2.cc }

Esempi

- **relazione tra array e puntatori:**
{ ARRAY_PUNT/punt_vett.cc }
- **idem, con doppio avanzamento:**
{ ARRAY_PUNT/punt_vett1.cc }
- **scansione array con puntatori:**
{ ARRAY_PUNT/scansione_array.cc }
- **..., variante:**
{ ARRAY_PUNT/scansione_array2.cc }

Esempi

- **relazione tra array e puntatori:**
{ ARRAY_PUNT/punt_vett.cc }
- **idem, con doppio avanzamento:**
{ ARRAY_PUNT/punt_vett1.cc }
- **scansione array con puntatori:**
{ ARRAY_PUNT/scansione_array.cc }
- ..., variante:
{ ARRAY_PUNT/scansione_array2.cc }

Esempi

- **relazione tra array e puntatori:**
{ ARRAY_PUNT/punt_vett.cc }
- **idem, con doppio avanzamento:**
{ ARRAY_PUNT/punt_vett1.cc }
- **scansione array con puntatori:**
{ ARRAY_PUNT/scansione_array.cc }
- **..., variante:**
{ ARRAY_PUNT/scansione_array2.cc }

Outline

1 Definizione ed Utilizzo di Array

2 Array e Funzioni

3 Array Ordinati

4 Array Multi-Dimensionali

5 Array e Puntatori

6 Array, Puntatori e Funzioni

Passaggio di Array tramite Puntatore

- Nelle chiamate di funzioni viene passato solo l'indirizzo alla prima locazione dell'array,
⇒ un parametro formale array può essere specificato usando indifferentemente la notazione degli array o dei puntatori

- Le seguenti scritture sono equivalenti (array semplici):

```
int f(int arr[dim]);  
int f(int arr[]);  
int f(const int *arr);
```

- Le seguenti scritture sono equivalenti (array multi-dimensionali):

```
int f(int arr[dim1][dim2]...[dimN]);  
int f(int arr[][dim2]...[dimN]);  
int f(const int *arr[dim2]...[dimN]);
```

Esempi

- array passati come tali (richiamo):
{ ARRAY_PUNT/concatena_array.cc }
- ... passati come puntatori:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array1.cc }
- ... passati e manipolati come puntatori:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array2.cc }
- passaggio con par. attuale puntatore, par. formale array:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array3.cc }

Esempi

- array passati come tali (richiamo):
{ ARRAY_PUNT/concatena_array.cc }
- ... passati come puntatori:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array1.cc }
- ... passati e manipolati come puntatori:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array2.cc }
- passaggio con par. attuale puntatore, par. formale array:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array3.cc }

Esempi

- array passati come tali (richiamo):
{ ARRAY_PUNT/concatena_array.cc }
- ... passati come puntatori:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array1.cc }
- ... passati e manipolati come puntatori:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array2.cc }
- passaggio con par. attuale puntatore, par. formale array:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array3.cc }

Esempi

- array passati come tali (richiamo):
{ ARRAY_PUNT/concatena_array.cc }
- ... passati come puntatori:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array1.cc }
- ... passati e manipolati come puntatori:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array2.cc }
- passaggio con par. attuale puntatore, par. formale array:
{ ARRAY_PUNT/concatena_array3.cc }

Restituzione di un Array

Problema importante

Una funzione può restituire un array (allocato staticamente)?

- Sì, ma solo se è allocato staticamente **esternamente** alla funzione!
(es. parametro formale, array globale)
- No, se è allocato staticamente **internamente** alla funzione!

- **corretta**, restituisce array parametro formale:

```
{ ARRAY_PUNT/restituzione_array.cc }
```

- **corretta**, restituisce array globale:

```
{ ARRAY_PUNT/restituzione_array1.cc }
```

- **compila, ma fa disastri**:

```
{ ARRAY_PUNT/err_restituzione_array2.cc }
```

Restituzione di un Array

Problema importante

Una funzione può restituire un array (allocato staticamente)?

- Sì, ma solo se è allocato staticamente **esternamente** alla funzione!
(es. parametro formale, array globale)
- No, se è allocato staticamente **internamente** alla funzione!

- **corretta**, restituisce array parametro formale:

```
{ ARRAY_PUNT/restituzione_array.cc }
```

- **corretta**, restituisce array globale:

```
{ ARRAY_PUNT/restituzione_array1.cc }
```

- **compila**, ma fa disastri:

```
{ ARRAY_PUNT/err_restituzione_array2.cc }
```

Restituzione di un Array

Problema importante

Una funzione può restituire un array (allocato staticamente)?

- Sì, ma solo se è allocato staticamente **esternamente** alla funzione!
(es. parametro formale, array globale)
- No, se è allocato staticamente **internamente** alla funzione!

- **corretta**, restituisce array parametro formale:

```
{ ARRAY_PUNT/restituzione_array.cc }
```

- **corretta**, restituisce array globale:

```
{ ARRAY_PUNT/restituzione_array1.cc }
```

- **compila**, ma fa disastri:

```
{ ARRAY_PUNT/err_restituzione_array2.cc }
```

Restituzione di un Array

Problema importante

Una funzione può restituire un array (allocato staticamente)?

- Sì, ma solo se è allocato staticamente **esternamente** alla funzione!
(es. parametro formale, array globale)
- No, se è allocato staticamente **internamente** alla funzione!

- **corretta**, restituisce array parametro formale:

```
{ ARRAY_PUNT/restituzione_array.cc }
```

- **corretta**, restituisce array globale:

```
{ ARRAY_PUNT/restituzione_array1.cc }
```

- **compila, ma fa disastri**:

```
{ ARRAY_PUNT/err_restituzione_array2.cc }
```

Esercizi proposti

Vedere file `ESERCIZI_PROPOSTI.txt`