Corso “Programmazione 1”
Capitolo 08: Gestione Dinamica della Memoria

Docente: Marco Roveri - marco.roveri@unitn.it
Esercitatori: Giovanni De Toni - giovanni.detoni@unitn.it
Stefano Berlato - stefano.berlato-1@unitn.it

C.D.L.: Informatica (INF)
A.A.: 2021-2022
Luogo: DISI, Università di Trento
URL: https://bit.ly/2VgfYwJ

Ultimo aggiornamento: 3 novembre 2021

Terms of Use and Copyright

The material (text, figures) in these slides is authored mostly by Roberto Sebastiani, with contributions by Marco Roveri, Alessandro Armando, Enrico Giunchiglia e Sabrina Recla.

Outline

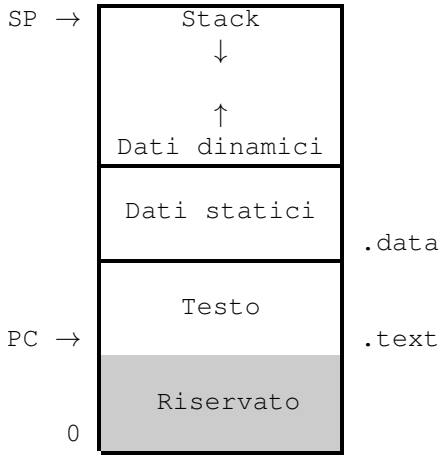
Uso Dinamico della Memoria

- L'allocazione statica obbliga a definire la struttura e la dimensione dei dati a priori (compiler time)
  - Non sempre questo è accettabile e/o conveniente
  - Esempio: dimensione di un array fissa e stabilita a priori (`int a[100];`)
- In C++ è possibile gestire la memoria anche dinamicamente, ovvero durante l'esecuzione del programma
- Memoria allocata nello store (heap), un'area esterna allo stack
- L'accesso avviene tramite puntatori
- L'allocazione/deallocazione è gestita dagli operatori **`new`** e **`delete`**

Modello di gestione della memoria per un programma (ripasso)

Area di memoria allocata ad un'esecuzione di un programma:

- Area programmi: destinata a contenere le istruzioni (in linguaggio macchina) del programma
- Area dati statici: destinata a contenere variabili globali o allocate staticamente e le costanti del programma.
- Area heap: destinata a contenere le variabili dinamiche (di dimensioni non prevedibili a tempo di compilazione) del programma.
- Area stack: destinata a contenere le variabili locali e i parametri formali delle funzioni del programma.



Allocazione: l'operatore **new**

- Sintassi:
  - **new** `tipo;`
  - **new** `tipo (valore);` (con inizializzazione del valore)
  - **new** `tipo[dimensione];` (per gli array)

  dove `dimensione` può essere un'espressione variabile e `valore` deve essere un valore costante di tipo `tipo`
- Esempio:

```
int *p, *q;
char *stringa;

p = new int;
q = new int (5); // Assegna valore 5 all'area di memoria
stringa = new char[3*i];
```

Allocazione: l'operatore **`new`** - II

- L'operatore **`new`**/**`new`**`[dimensione]`:
  1. alloca un'area di memoria adatta a contenere un oggetto (o `dimensione` oggetti) del tipo specificato
  2. la inizializza a `valore` (se specificato)
  3. ritorna l'indirizzo (del primo elemento) di tale area
     $\Longrightarrow$ tipicamente assegnato ad un puntatore

Deallocazione: l'operatore **delete**

- Sintassi:
  - **delete** indirizzo;
  - **delete**[] indirizzo; (per gli array)

  dove il valore dell'espressione indirizzo deve essere l'indirizzo di una celletta precedentemente allocata da una chiamata a **new**
- Esempio:

```
int *p;
char *stringa;

p = new int;
stringa = new char[30];
delete p;
delete[] stringa;
```

Deallocazione: l'operatore **`delete`** - II

- L'operatore **`delete`**/**`delete[]`** dealloca l'area di memoria precedentemente allocata a partire dall'indirizzo specificato
  - se l'indirizzo non corrisponde ad una chiamata a **`new`** $\Longrightarrow$ errore
  - un'area allocata da **`new`** [resp. **`new[...]`**] deve essere deallocata con **`delete`** [resp. **`delete[]`**] (altrimenti comp. non specificato)
- Al termine del programma anche la memoria allocata con **`new`** viene automaticamente deallocata

Nota su deallocazione

Deallocare un'area di memoria:

- significa che quell'area non é più "riservata"
  $\Longrightarrow$può essere ri-allocata
- non significa che il suo contenuto venga cancellato!
  $\Longrightarrow$ valore potenzialmente ancora accessibile per un po' di tempo (non noto a priori!!!)
  $\Longrightarrow$ facile non accorgersi di situazione di errore!!!

Esempi: `new` e `delete` su variabili semplici

- Esempio con **`new`**:
  { `ALLOC_DINAMICA/new1.cc` }
- variante:
  { `ALLOC_DINAMICA/new2.cc` }
- ... con inizializzazione:
  { `ALLOC_DINAMICA/new3.cc` }
- esempio di allocazione e deallocazione:
  { `ALLOC_DINAMICA/newdelete1.cc` }
- tentativo di deallocazione di variabile statica:
  { `ALLOC_DINAMICA/newdelete2.cc` }
- indipendanza dal nome del puntatore:
  { `ALLOC_DINAMICA/newdelete3.cc` }

Durata di un'Allocazione Dinamica

- Un oggetto creato dinamicamente resta allocato finché:
  - non viene esplicitamente deallocato con l'operatore **`delete`**, oppure
  - il programma non termina
- La memoria allocata con **`new`** non esplicitamente deallocata con **`delete`**, può risultare non più disponibile per altri programmi
  - $\Longrightarrow$ spreco di memoria (memory leak)
  - $\Longrightarrow$ degrado delle prestazioni della macchina

Regola aurea

In un programma, si deve sempre esplicitamente deallocare tutto quello che si è allocato dinamicamente non appena non serve più.

Gestione dinamica della memoria: pro e contro

- Pro:
  - Gestione efficiente della memoria: alloca solo lo spazio necessario
  - Permette la creazione di strutture dati dinamiche (liste, alberi, ...)
- Contro:
  - Molto più difficile da gestire
  - Facile introdurre errori e/o memory leaks

Nota

- Esistono strumenti a supporto dell'identificazione di memory leaks:
  - Open source (e.g. `valgrind`, `gperftool`, `-fsanitize=...`)
  - ... e commerciali (e.g. `Parasoft Insure++`, `IBM Rational Purify`)

Allocazione dinamica di Array

- Consente di creare a run-time array di dimensioni diverse a seconda della necessità
- Un array dinamico è un puntatore al primo elemento della sequenza di celle

```
int n;
cin >> n;
int *a = new int[n]; //allocazione dell'array
for (int i=0; i<n; i++) {
  cout << endl << i+1 << ": ";
  cin >> a[i]; };
delete[] a;          //deallocazione dell'array
```

- Esempio di cui sopra esteso:
  { ALLOC_DINAMICA/prova.cc }
- Allocazione dinamica array + inizializzazione: non più ammessa:
  { ALLOC_DINAMICA/prova5.cc }

Allocazione dinamica di Stringhe

- Consente di creare a run-time stringhe di dimensioni diverse
- Una stringa dinamica è un puntatore al primo elemento della sequenza di caratteri, terminata da `'\0'`
- L'I/O di una stringa dinamica è gestita automaticamente dagli operatori `>>`, `<<`
- Tutte le primitive su stringhe in `<cstring>` applicano anche alle stringhe dinamiche

```
char * sc, *sb = new char [20];
cin >> sb;
sc = new char[strlen(sb)+1];
strcpy(sc,sb);
cout << sc;
```

- Esempio di cui sopra esteso:
  { ALLOC_DINAMICA/prova2.cc }

Fallimento di **new**

- L'esecuzione di una **new** può non andare a buon fine (memoria destinata al programma esaurita)
  - In tal caso lo standard C++ prevede che, se non diversamente specificato, **new** richieda al s.o. di abortire il programma.
- Soluzione: usare "**new (nothrow)**"
  - Con l'opzione "**nothrow**", **new** non abortisce ma restituisce "**NULL**" in caso di impossibilità ad allocare la memoria richiesta.
  - Esempio:

```
char *p = new (nothrow) char[mymax];
...
if (p!=NULL)...
```

Esempi

Suggerimento 1: aprire shell con comando “top” attivo
Suggerimento 2: su `bash` provare ad eseguire con
`(ulimit -v 5000000; ./a.out)`

- allocazione eccessiva:
  { `ALLOC_DINAMICA/prova3.cc` }
- ... con deallocazione:
  { `ALLOC_DINAMICA/prova3_bis.cc` }
- deallocazione non dipende dal nome del puntatore!:
  { `ALLOC_DINAMICA/prova3_tris.cc` }
- **`delete`**`[]` richiede l’indirizzo del primo elemento allocato!:
  { `ALLOC_DINAMICA/prova3_err.cc` }
- uso di **`new (nothrow)`**:
  { `ALLOC_DINAMICA/prova4_nothrow.cc` }

Restituzione di Array II[1]

Una funzione può restituire un array se allocato dinamicamente al suo interno.

```
int *times(int a[], ...) {
  int * b = new int[10];
  (...)
  return b;
}

int v[10] = {1,2,3,4,5,6,7,8,9,10};
int * w = times(v,...);
```

- versione non corretta, vedi Ch. 6:
  { ALLOC_DINAMICA/err_restituzione_array2.cc }
- versione corretta:
  { ALLOC_DINAMICA/restituzione_array.cc }

[1] Si veda per confronto la slide omonima in Cap. 06.

Responsabilità di allocazione/deallocazione dinamica

Quando si usa allocazione dinamica di un dato (e.g. di un array) che viene passato tra più di una funzione, il programmatore deve:

- decidere quale funzione ha la responsabilità di allocare il dato
  - rischio di mancanza di allocazione $\Longrightarrow$segmentation fault
  - rischio di allocazioni multiple $\Longrightarrow$memory leak
- decidere quale funzione ha la responsabilità di deallocarlo
  - rischio di mancanza di deallocazione $\Longrightarrow$memory leak
  - rischio di deallocazioni multiple $\Longrightarrow$segmentation fault
- adeguare il passaggio di parametri delle funzioni in tal senso.
  - rischio di mancanza di allocazione $\Longrightarrow$segmentation fault

Nota importante

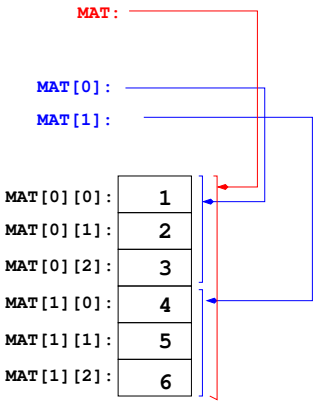
È fondamentale concordare preventivamente la responsabilità dell'allocazione e deallocazione quando il codice è sviluppato in team!

Esempi

- nessuna allocazione, passaggio per valore:
  { `ALLOC_DINAMICA/responsabilita1_err.cc` }
- allocazione esterna alla funzione get, passaggio per valore:
  { `ALLOC_DINAMICA/responsabilita1.cc` }
- allocazione interna alla funzione get, passaggio per valore:
  { `ALLOC_DINAMICA/responsabilita2_err.cc` }
- allocazione interna alla funzione get, passaggio per riferimento:
  { `ALLOC_DINAMICA/responsabilita2.cc` }
- doppia allocazione, passaggio per riferimento:
  { `ALLOC_DINAMICA/responsabilita2_memleak.cc` }
- deallocazione interna alla funzione print (insensata e pericolosa)!:
  { `ALLOC_DINAMICA/responsabilita3.cc` }
- deallocazione interna alla funzione print (insensata e pericolosa)!:
  { `ALLOC_DINAMICA/responsabilita3_2delete.cc` }
- funzione di deallocazione esplicita:
  { `ALLOC_DINAMICA/responsabilita4.cc` }

Struttura di un array bidimensionale (statico)

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



Esempio di allocazione statica (da esempi su “MATRICI”):

{ ALLOC_DINAMICA/matrix_sta.cc }

Allocazione dinamica di un array multidimensionale

- In C++ non è possibile allocare direttamente un array multi-dimensionale in modo dinamico

$\Longrightarrow$ array multidimensionali e puntatori sono oggetti incompatibili.

```
int *  MAT1 = new int[2][3]; // ERRORE
int ** MAT2 = new int[2][3]; // ERRORE
```

- "`new int[2][3]`" restituisce l'indirizzo di 2 oggetti consecutivi di tipo "`int[3]`", incompatibili sia con "`int *`" che con "`int **`"

Esempio di cui sopra, espanso:

{ ALLOC_DINAMICA/matrix_din_err.cc }

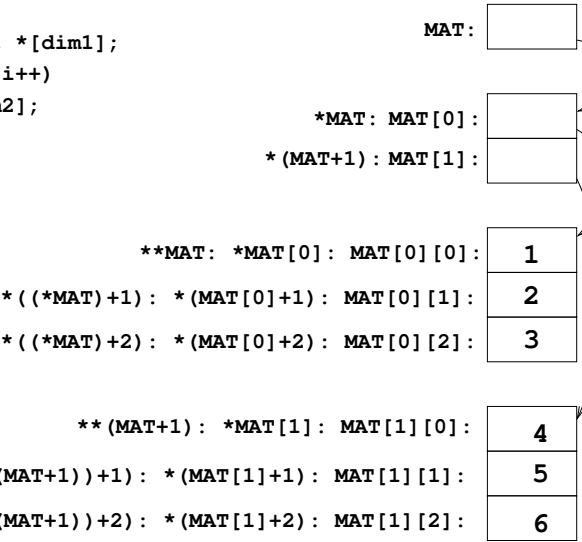
Array dinamici multidimensionali

- In C++ si possono definire array dinamici multidimensionali come array dinamici di array dinamici ...
- Tipo base: puntatore di puntatore ...
- Gli operatori "[]" funzionano come nel caso statico
  - `MAT[i]` equivalente a `*(MAT+i)`,
  - `MAT[i][j]` equivalente a `*((*(MAT+i))+j)`,
- L'allocazione richiede un ciclo (o più)

```
int ** M;                       // puntatore a puntatori a int
M = new int *[dim1];            // array dinamico di puntatori
for (int i=0;i<dim1;i++)
  M[i] = new int[dim2];         // allocazione di ciascun array
```

Struttura di un array bidimensionale (dinamico)

```
int dim1=2, dim2=3;
int ** MAT = new int *[dim1];
for (int i=0;i<dim1;i++)
  M[i] = new int[dim2];
```



Esempio di cui sopra, espanso:
{ ALLOC_DINAMICA/matrix_din.cc }

Esempi: allocazione e gestione di matrici dinamiche

- Operazioni matriciali su matrice dinamica:
  { `ALLOC_DINAMICA/matrix.cc` }
- idem, con il nuovo tipo “matrix” (uso di **`typedef`**):
  { `ALLOC_DINAMICA/matrix_typedef.cc` }
- come sopra, con unica funzione di allocazione matrice:
  { `ALLOC_DINAMICA/matrix_v2_typedef.cc` }

Esempi: deallocazione di matrici dinamiche

Suggerimento 1: aprire shell con comando “top” attivo
Suggerimento 2: su `bash` provare ad eseguire con
`(ulimit -v 5000000; ./a.out)`

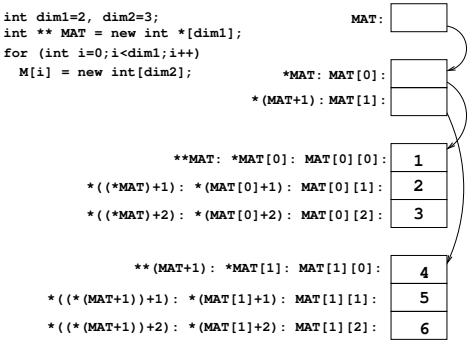
- allocazione senza deallocazione di matrici dinamiche:
  { `ALLOC_DINAMICA/matrix2.cc` }
- .. con deallocazione mediante **`delete[]`**:
  { `ALLOC_DINAMICA/matrix3.cc` }
- ... con deallocazione completa di matrici:
  { `ALLOC_DINAMICA/matrix4.cc` }

$\Longrightarrow$ Anche la deallocazione richiede un ciclo (o più)

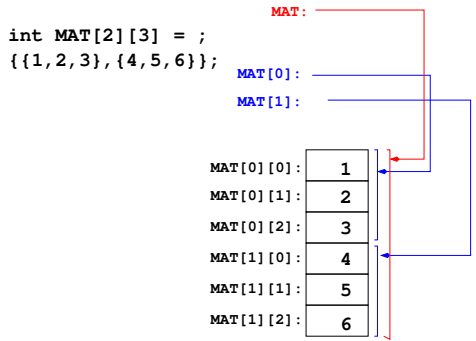
Array bidimensionali dinamici vs. statici

Sebbene concettualmente simili, gli array multidimensionali dinamici e statici sono sintatticamente oggetti diversi e non compatibili
(uno è un "`int **`", l'altro un "`int * const *`")

Array bidimensionale dinamico



Array bidimensionale statico



Array bidimensionali dinamici vs. statici II

```
void print_matrix_dim(float ** a, ...) {...}
void print_matrix_sta(float a[][d2a], ...)  {...}

float A[d1a][d2a] = {{1,2,3},{4,5,6}};
float ** B;
B = read_matrix(d1b,d2b);
// B = A;                          // errore
// print_matrix_dim (A, d1a, d2a); // errore
print_matrix_dim(B, d1b, d2b);
print_matrix_sta(A, d1a, d2a);
// print_matrix_sta(B, d1b, d2b); // errore
```

Esempio di cui sopra, espanso:

{ ALLOC_DINAMICA/matrix_stavsdin.cc }