C++

Algoritmi e Strutture Dati + Lab
A.A. 21/22

Informatica
Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”

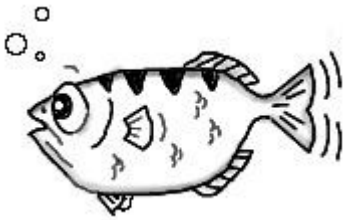
Nicola Di Mauro

Un pò di storia

- La prima implentazione del C++ risale al 1980 (scritto da Bjarne Stroustrup)
  - AT&T Bell Labs
- Originariamente pre-compilato in C
  - Segue un passo di compilazione C
- Attualmente la precompilazione viene effettuata durante la fase di compilazione C++
- Estensioni: .cc e .cpp
- 1980, ISO standard (stndard template)
- 2011, il nuovo ISO C++11
- Linguaggio orientato ad oggetti
  - Encapsulation
  - Ereditarietà
  - Modularità
  - Polimorfismo
  - Operatori e sovraccarico di operatori
  - Template

Risorse

- Editor:
  - GNU Emacs, Code
  - Code::Blocks http://www.codeblocks.org/
- Compilatore
  - GCC, the GNU Compiler Collection (http://gcc.gnu.org/)
  - clang++ è un altro compilatore
  - Linux: apt-get install gcc
  - Windows: MinGW Minimalist GNU for Windows
- Debugger
  - GDB, the GNU Project Debugger (http://www.gnu.org/software/gdb/)



ADT Matrice in C e C++

- Specifica sintattica
  - Tipi: matrice, intero, tipoelem
  - Operatori:
    - CreaMatrice() → matrice
    - LeggiMatrice(matrice, intero, intero) → tipoelem
    - ScriviMatrice(matrice, intero, intero, tipoelem) → matrice
- In C possiamo operare come segue

```
typedef double tipoelem;
typedef typoelem ** matrice;
int righe = 10, colonne = 10;

tipoelem LeggiMatrice(matrice M, int r, int c){
    return M[r,c];
}

void ScriviMatrice(matrice &M, int r, int c, tipoelem e){
    M[r,c] = e;
}
```

ADT Matrice in C e C++ /2

- Requisito di astrazione
  - La costruzione di una matrice nulla in C

```
nulla(matrice & M){
    for (int i=0; i<righe; i++)
        for (int j=0; j<colonne; j++)
            M[i,j] = 0;
}
```

  - L'implementazione della funzione `nulla` dipende dalla realizzazione
    - violato il requisito di astrazione
  - Invece, la funzione andrebbe scritta

```
nulla(matrice & M){
    for (int i=0; i<righe; i++)
        for (int j=0; j<colonne; j++)
            ScriviMatrice[i,j] = 0;
}
```

  - Inoltre, le variabili righe e colonne, proprie dell'astrazione matrice, non sono protette ed incapsulate nella realizzazione
    - possono essere modificate da chiunque a da qualunque posizione
    - cosa succede se un programmatore scrive righe++ ???
    - cosa succede se si scrive colonne=-1 ???

ADT Matrice in C e C++ /3

- Requisito di protezione
  - In C possiamo violare facilmente il requisito di protezione
  - Supponiamo di avere le seguenti variabili

```
matrice A, B;
double C[3][3];
double s;
tipoelem e;
```

  - Non violano il requisito di protezione

```
e = LeggiMatrice(A,3,2);
ScriviMatrice(B,2,2,e);
```

  - Violazioni del requisito di protezione

```
s = LeggiMatrice(A,1,1);  // s non è di tipo tipoelem
ScriviMatrice(C,2,2,e);   // C non è di tipo matrice
A[3,1] = 7.31;            // accesso diretto ad A!!!
righe = righe * 2;        // modifica diretta di righe
colonne = -1;             // modifica diretta di colonne
e = LeggiMatrice(C,1,1);  // C non è di tipo matrice
e = 3.0;                  // anche tipoelem andrebbe protetto!!!
```

ADT Matrice in C e C++ /4

- Come vedremo in seguito il C++ ci fornisce tutti gli strumenti per garantire il requisito di astrazione e di protezione delle nostre ADT
  - ad esempio la nostra ADT matrice potrebbe essere realizzata come segue
    - la classe incapsula la nostra struttura dati
    - i metodi saranno applicabili solo su oggetti di tipo matrice

```
class matrice {
public:
   matrice(){  // definisce una matrice 5x5
      righe = 5; colonne = 5;
   }
   tipoelem LeggiMatrice(int r, int c){
      return M[r,c];
   }
   void ScriviMatrice(int r, int c, tipoelem e){
      M[r,c] = e;
   }
private:
    double M[10][10];
    int righe, colonne;
}
```

Compilazione

- Compilatore g++ della Free Software Foundation
- Fasi per la creazione di un eseguibile
  - Compilazione del sorgente (C, C++) in Assembly
    - di solito trasparente al programmatore
  - Assemblaggio del codice Assembly in codice oggetto
    - estensione *.o*
  - Linkaggio del codice oggetto
    - linkaggio di più file oggetto
    - risolve le dipendenza fra le librerie
    - produce l'eseguibile

Compilazione /2

- Supponiamo di disporre di un programma progetto.cpp che include l'header della libreria lib.h la cui implementazione risiede nel file lib.cpp
  - la direttiva #include “lib.h” dice al compilatore (in realtà al *preprocessore*) di inserire il prototipo di una certa funzione *x* in progetto.cpp, la cui definizione risiede, però, in lib.cpp

Passi di compilazione

- **Passo 1**: compilazione del programma principale
  - `g++ -c progetto.cpp`
    - produce il file progetto.o
- **Passo 2**: compilazione delle librerie
  - `g++ -c lib.c`
    - produce il file lib.o
- **Passo 3**: linkaggio dei file oggetto
  - `g++ progetto.o lib.o -o progetto`
    - procude l'eseguibile **progetto**

Compilazione separata

- In alcuni sistemi questi passi vengono effettuati in modo automatico
  - Dev-C++
- In programmi complessi è difficile tenere traccia dei singoli file modificati che richiedono una ricompilazione
- utilizzo del comando **make** per l'esecuzione di un **makefile** che contiene tutte le istruzioni di compilazione e linking

Makefile

- make è un sistema progettato per creare programmi costituiti da tantissimi file sorgente
  - utilizza un makefile per ogni directory
  - un makefile contiene le istruzioni per costruire il programma
- Componenti di un makefile
  - target
  - dipendenze
  - istruzioni

Makefile /2

- un makefile è costituito da coppie di linee
  - governa l'aggiornamento di un file
- da chi dipende l'eseguibile **progetto**?
  - da progetto.o e lib.o
    - progetto non può essere creato senza progetto.o e lib.o
- da chi dipende progetto.o?
  - da progetto.cpp e lib.h
- da chi dipende lib.o?
  - da lib.cpp e lib.h

Makefile /3

- un makefile contiene una coppia di linee per ogni file da costruire
- nel nostro esempio avrà tre coppie di linee
  - progetto
  - progetto.o
  - lib.o

Makefile /4

- La prima linea di ogni coppia di linee in un makefile ha la seguente struttura

```
TargetFile: DependencyFile1 DependencyFile2 ... DependencyFilen
```

  - TargetFile è il file che necessita l'aggiornamento
  - ogni DependencyFilei è un file da cui dipende TargetFile
- La seconda linea è il comando (Unix) per creare TargetFile
  - **il comando deve essere preceduto da un TAB e deve terminare con un invio**

Esempio

```
progetto: progetto.o lib.o
	g++ progetto.o lib.o -o progetto
progetto.o: progetto.cpp lib.h
	g++ -c progetto.cpp
lib.o: lib.cpp lib.h
	g++ -c lib.cpp
```

- Ora possiamo eseguire il comando *make*

Esecuzione di make

- Nota che `progetto` dipende da progetto.o, e
  - controlla progetto.o che dipende da progetto.cpp e lib.h
  - determina se progetto.o è *out-of-date*
  - se si, esegue il comando per creare project.o
    g++ -c progetto.cpp
- Nota che `progetto` dipende anche da lib.o, e
  - controlla lib.o che dipende da lib.cpp e lib.h
  - determina se lib.o è *out-of-date*
  - se si, esegue il comando per creare lib.o
    g++ -c lib.cpp;
- Nota che tutto ciò da cui dipende project.exe è ora *up-to-date*, e quindi esegue il comando per creare `progetto`
  g++ progetto.o lib.o -o progetto

Dettagli

- Possono esserci più comandi dopo la linea delle dipendenze

```
progetto: progetto.o lib.o
	g++ progetto.o lib.o -o progetto
	rm project.o
	rm lib.o
```

- E' possibile invocare uno specifico target

  ndm:~$ make lib.o

- E' possibile inserire dei target speciali

```
clean:
	rm -f progetto *.o *~ *#
```

```
ndm:~$ make clean
```

Le variabli

- E' possibile utilizzare delle variabili all'interno di un makefile

```
CC=g++
CFLAGS=-c -Wall
```

Makefile con variabili

```
# La variabile CC indica il compilatore da usare
CC=g++
# Opzioni da passare al compilatore
CFLAGS=-c -Wall

all: progetto

progetto: progetto.o lib.o
	$(CC) progetto.o lib.o -o progetto

progetto.o: progetto.cpp lib.h
	$(CC) $(CFLAGS) progetto.cpp

lib.o: lib.cpp lib.h
	$(CC) $(CFLAGS) lib.cpp

clean:
	rm -rf *o hello
```

Approfondimenti

- GNU Make
  - http://www.gnu.org/software/make/
- Dev-C++
  - utilizza come compilatore il porting MinGW (Minimalist GNU for Windows) di GCC (GNU Compiler Collection)
- GCC: GNU Compiler Collection
  - http://gcc.gnu.org/
  - The Linux GCC HOWTO
    - http://www.pluto.it/files/ildp/HOWTO/GCC-HOWTO/GCC-HOWTO.html
- MinGW (Minimalist GNU for Windows)
  - http://www.mingw.org/

Basics

Hello, world ...

```
#include <iostream>
int main() {
   std::cout << "Hello world!" << endl;
   return 0;
}
```

- `#include <iostream>`
  - direttiva al preprocessore
- `main()` è una *free* function
  - Il tipo restituito è un int, lo status code
    - 0 successo, !=0 fallimento
- `std::` utilizzato per accedere ai nomi del namespace `std`
- `cout` è un oggetto speciale che rappresenta lo screen
- `<<` è un operatore (operatore di output)

Parametri a riga di comando

- E' possibile accedere ai parametri dati a riga di comando definendo il main come segue
  - `int main (int argc, char* argv[]) { ... }`
    - Argc è il numero di parametri, incluso il nome del programma
    - Argv è un array di C-stringhe contenenti i parametri
- Esempio

```
./myprog -a myfile.txt

argc = 3
argv[0] = "./myprog"
argv[1] = "-a"
argv[2] = "myfile.txt"
argv[3] = 0
```

Commenti

```
/* To calculate the final grade, we sum all the weighted midterm
   and homework scores and then divide by the number of scores to
   assign a percentage.  This percentage is used to calculate a
   letter grade. */

// To generate a random item, we're going to do the following:
// 1) Put all of the items of the desired rarity on a list
// 2) Calculate a probability for each item based on level and
//    weight factor
// 3) Choose a random number
// 4) Figure out which item that random number corresponds to
// 5) Return the appropriate item
```

Variabili

- Una variabile è il nome di una porzione di memoria
  - `int x;`
- E' possibile stamparne il suo valore usando `cout`
  - `cout << x;`
- In C++ le variabili sono note come l-value (left side)
  - Un valore che ha un indirizzo di memoria
    - Al contrario di un r-value (right side) che si riferisce ad un valore assegnato ad un l-value

Variabili statiche

- Un attributo di una classe in C++ (come in Java) può essere statico
  - Esiste una sola variabile per tutti gli oggetti della classe
- In C++, anche le funzioni possono avere variabili statiche
  - Viene creata alla prima chiamata della funzione e il suo valore ricordato nelle successive chiamate di funzione
- Contare il numero di chiamate della funzione

```
void f() {
      static int counter = 0;
      counter++;
      …
   }
```

Assegnamenti e r-value

```
int y;       // dichiara y come variabile integer
y = 4;       // 4 è uguale a 4, che viene asegnato a y
y = 2 + 5;   // 2 + 5 è uguale a 7, assegnato a y
int x;       // dichiara x come variabile integer
x = y;       // y è uguale a 7, assegnato a x
x = x;       // x è uguale a 7, assegnato a x
x = x + 1;   // x + 1 è uguale a 8, assegnato a x
```

cin

- Cin è l'opposto di cout

```
#include <iostream>

int main() {
    using namespace std;
    cout << "Enter a number: ";
    int x;
    cin >> x;
    cout << "You entered " << x << endl;
    return 0;
}
```

  - Cin >> x;
    - Legge il numero dalla console e lo assegna a x

Funzioni

```
// Declaration of function DoPrint()
void DoPrint()
{
    using namespace std;
    cout << "In DoPrint()" << endl;
}

// Declaration of main()
int main()
{
    using namespace std;
    cout << "Starting main()" << endl;
    DoPrint(); // chiamata a DoPrint()
    cout << "Ending main()" << endl;
    return 0;
}
```

Parametri di funzione

```
#include <iostream>

int add(int x, int y){
    return x + y;
}

int multiply(int z, int w){
    return z * w;
}

int main(){
    using namespace std;
    cout << add(4, 5) << endl;
    cout << add(3, 6) << endl;
    cout << add(1, 8) << endl;

    int a = 3;
    int b = 5;
    cout << add(a, b) << endl;
    cout << add(1, multiply(2, 3)) << endl;
    cout << add(1, add(2, 3)) << endl;
    return 0;
}
```

Forward declaration

```
#include <iostream>

int add(int x, int y); // forward declaration prototype

int main()
{
    using namespace std;
    cout << "The sum of 3 and 4 is: " << add(3, 4) << endl;
    return 0;
}

int add(int x, int y)
{
    return x + y;
}
```

Dati primitivi

- char
- int, short, long
- double, float
- bool
  - Nel vecchio C++ gli int erano usati per i booleani

```
int a;
cin >> a;
if (a) { ... }
// equivalent to if (a != 0)

Point* p = list.getFirstPoint();
while (p) { ... } // equivalent to while (p != 0)
// 0 is C++98 for 'nullptr'
```

Reference

- Un riferimento è un nome alternativo per identificare un oggetto, un alias
  - Non come in Java che è un puntatore
  - Di solito usati come parametri di funzione
- Un riferimento deve essere inizializzato quando creato, ed una volta inizializzato non può essere cambiato
  - No n esistono riferimenti null

```
int ival = 1024;
int& refval = ival;
refval += 2;
int ii = refval;
```

Puntatori

- Un puntatore punta ad una locazione di memoria e conserva l'indirizzo di quella locazione
  - Può far riferimento a qualsiasi cosa
- Un puntatore viene dichiarato con un * fra il tipo e il nome della variabile

```
int* ip1;
// can also be written int *ip1
Point* p = nullptr; // pointer to object of class Point.
// nullptr is "no object", same as Java's null.
// nullptr is new in C++11, C++98 used 0
```

- Un modo (non il più comune come vedremo in seguito) per ottenere un valore puntatore è quello di far precedere il nome della variabile dal simbolo &, l'operatore indirizzo:

```
int ival = 1024;
int* ip2 = &ival;
```

-

Dereferenziare

- Il contenuto della memoria al quale punta un puntatore è accessibile con l'operatore * (dereferenziazione)

```
int ival = 1024;
int* ip2 = &ival;
cout << *ip2 << endl; // prints 1024
*ip2 = 1025;
```

- Puntatori e riferimenti
  - I puntatori possono essere dereferenziati, i riferimenti no
  - I puntatori possono esse indefiniti o null, i riferimenti no
  - I puntatori possono essere cambiati per puntare ad altro, i riferimenti no

Alias

- Un nome può essere definito come sinonimo di un nome di tipo già esistente
  - Tradizionalmente si usa il `typedef`
  - Nel nuovo standard esiste una nuova dichiarazione di alias

```
using newType = existingType; // C++11
typedef existingType newType; // equivalent, still works
```

- Esempi

```
typedef unsigned long counter_type;
typedef std::vector<int> table_type;
using counter_type = unsigned long;
using table_type = std::vector<int>;
```

auto (C++11)

- A volte i nomi di tipo sono lunghi da scrivere, oppure difficile per il programmatore ricordare il tipo esatto di una espressione
- Il compilatore però non ha nessun problema nel dedurre un tipo
- La parola chave `auto` dice al compilatore di dedurre il tipo da un inizializzatore
- Esempi:

```
vector<int> v; // a vector is like a Java ArrayList
…
auto it = v.begin(); // begin() returns vector<int>::iterator
auto func = [](int x) { return x * x; }; // a lambda function
```

- Non usare auto quando il tipo è ovvio (ad es., per i letterali)
  - `auto sum = 0; // silly, sum is int`

auto rimuove & e const (C++11)

- Quando si usa `auto` per dichiarare variabili, i “top-level” & e const vengono rimossi
- Esempi

```
int i = 0;
int& r = i;
auto a = r; // a is int, the value is 0
auto& b = r; // b is ref to int
const int ci = 1;
auto c = ci;
// c is int, the value is 1
const auto d = ci; // d is const int, the value is 1
```

decltype (C++11)

- A volte vogliamo definire una variabile con un tipo che il compilatore deduce da una espressione, ma non vogliamo assegnare il valore dell'espressione alla variabile
- `decltype` restituisce il tipo del suo operando:

```
sometype f() { ... }
decltype(f()) sum = 0;
vector<Point> v;
…
for (decltype(v.size()) i = 0; i != v.size(); ++i) {
    ...
}
```

- f() and v.size() are not evaluated.

Array

- “The C array concept is broken and beyond repair.”
  Bjarne Stroustrup
- Programmi C++ moderni normalmente usano vettori invece degli array built-in
- Non esistono verifiche sulla indicizzazione a runtime
  - Con un indice errato è possibile accedere e distruggere un elemento fuori dall'array
- Esistono due modi di allocare array: sullo stack o sullo heap

Array /2

- Array allocato sullo stack

```
void f() {
   int a = 5;
   int x[3]; // size must be a compile-time constant
   for (size_t i = 0; i != 3; ++i) {
      x[i] = (i + 1) * (i + 1);
   }
   …
}
```

- In molti casi quando si usa il nome di un array, il compilatore sostituisce un puntatore al primo elemento dell'array

```
int* px1 = x;
int* px2 = &x[0]; // equivalent
```

Array /2

- E' possibile usare puntatori per accedere agli elementi di un array
  - I puntatori sono gli iteratori per gli array

```
int x[] = {0, 2, 4, 6, 8};
for (int* px = x; px != x + 5; ++px) {
   cout << *px << endl;
}
```

- Quando si incrementa un puntatore, gli incrementi sono in misura del tipo i dato indirizzato
  - `px + 1` significa `px + sizeof(T)` per un array di tipo T.
- Si possono acre sottrarre due puntatori per ottenere il numero di elementi di un array fra due puntatori

begin e end (C++11)

- Nell'esempio precedente abbiamo ottenuto il puntatore al primo elemento dell'array con il suo nome, e il puntatore a dopo l'ultimo elemento con il suo nome più il numero di elementi
- Con un vector, avremmo usato i metodi `begin` e `end`
- Poichè gli array sono un tipo built-in non hanno funzioni membro
  - Possiamo usare le funzioni di libreria

```
int x[] = {0, 2, 4, 6, 8};
for (int* px = begin(x); px != end(x); ++px) {
   cout << *px << endl;
}
```

Array su heap

- Simili agli array in Java

```
void g(size_t n) {
   int a;
   int* px = new int[n]; // size may be dynamic, >= 0
   for (size_t i = 0; i != n; ++i) {
      px[i] = (i + 1) * (i + 1);
   }
   …
   delete[] px; // note []
}
```

Array: note

- Ad un heap-allocated array si accede con puntatori
- Un heap-allocated array non contiene informazioni sulla sua lunghezza
- Le funzioni iteratore begin() e end() non possono essere utilizzate per gli heap-allocated arrays
- delete[] è necessaria per cancellare l'array
  - Altrimenti gli oggetti nell'array non verranno distrutti

Casting

- In C++ la convesione di tipo è implicita

```
d = 35.67;
int x = d; // x == 35; implicit
```

- Si dovrebbe usare un cast esplicito
  - `int x = static_cast<int>(d);`
- Altri cast oltre quello statico sono
  - dynamic_cast<type>(pointer) per il "downcasting" in una gerarchia di ereditarietà
  - const_cast<type>(variable) rimuove la "constness" da una variabile
    - Non spesso usato
  - reinterpret_cast<type>(expr) converte qualcosa in un'altra cosa
    - Reinterpreta il pattern di bit in modo diverso
    - Usato nella programmazine di basso livello
- Il casting alla C (e alla Java), (int) d, è permesso in C++ ma non dovrebbe essere usato

Passaggio di parametri

- I parametri ad una funzione sono passati per valore di default
  - Il valore viene calcolato usando il parametro reale
- Se si vuole cambiare il valore del parametro reale si può passare l'argomento per riferimento

```
void swap(int& v1, int& v2) {
   int tmp = v2;
   v2 = v1;
   v1 = tmp;
}

int main() {
   int i = 10;
   int j = 20;
   swap(i, j);
}
```

Passaggio di parametri /2

- Il passaggio per riferimento viene usato anche per passare oggetti di grandi dimensioni senza farne una copia

```
bool isShorter(const string& s1, const string& s2) {
    return s1.size() < s2.size();
}
```

- La parola chiave const è essenziale se non si vuole modificare l'oggetto
  - Senza const, non si potrebbe pasare una constant string
  - Senza const, si potrebbbe innavvertitamente cambiare lo stato di un oggetto nella funzione

Vector

- La classe vector è una classe template per la memorizzazione di elementi di tipo arbitrario

```
#include <iostream>
#include <vector>
#include <string>

using namespace std;

int main() {
   vector<string> v;
   string word;
   while (cin >> word)
      v.push_back(word);
   for (int i = v.size() - 1; i >= 0; --i)
      cout << v[i] << endl;
}
```

Vector: note

- Un vector è inizialmente vuoto
  - Gli elementi vengono aggiunti in coda con il metodo push_back
- Lo spazio di per la memorizzazione di nuovi elementi viene allocato automaticamente
- Si accede agli elementi con v[index]
- I vector possono essere copiati
  - V1 = V2
- e confrontati
  - V1 == V2

Iteratori: intro

- `vector` è una classe container della libreria standard library. Di solito, si usano gli iteratori per accedere agli elementi di un container
- Un iteratore “punta” ad uno degli elementi della collection (or ad una posizione immediatmente successiva all'ultimo elemento)
  - si può dereferenziare con * per accedere all'elemento al quale punta
  - suò essere incrementato ++ per farlo puntare al successivo elemento
- I containers hanno i metodi begin() e end() che restituiscono un iteratore al primo elemento ed uno alla posizione dopo l'ultimo elemento del container

Scansionare un vettore

```
vector<int> v;
…
for (vector<int>::iterator it = v.begin();
     it != v.end(); ++it)
   *it = 0;
```

Meglio con auto (C++11)

```
for (auto it = v.begin(); it != v.end(); ++it)
   *it = 0;
```

Ancor meglio con un for range-based (C++11)

```
for (int& e : v)
   e = 0;
```

Aritmetica degli iteratori

- Gli itertori vector supportno alcune operazioni aritmetiche
- Trovare il primo numero negativo nella seconda metà del vector

```
auto it = v.begin() + v.size() / 2; // midpoint
while (it != v.end() && *it >= 0)
   ++it;
if (it != v.end())
   cout << "Found at index " << it - v.begin() << endl;
else
   cout << "Not found" << endl;
```

Iteratori const

- Un normale iteratore può essere utilizzato per leggere e scrivere elementi
- Un `const_iterator` può solo essere unsato per leggere elementi
  - `cbegin()` e `cend()`, nuovi in (C++11), restituiscono iteratori const

```
vector<int> v;
for (auto it = v.cbegin(); it != v.cend(); ++it)
   cout << *it << endl;
```

- Quando un container è un oggetto costante, anche begin() e end() restituiscono un iteratore costante

```
void f(const vector<int>& v) {
   for (auto it = v.begin(); it != v.end(); ++it)
      *it = 0; // Wrong -- 'it' is a constant iterator
}
```

Classi

Basics

- Una classe punto dove le coordinate non possono essere negative

```
class Point {
   public:
      using coord_t = unsigned int;
      Point(coord_t ix, coord_t iy);
      coord_t get_x() const;
      coord_t get_y() const;
      void move_to(coord_t new_x, coord_t new_y);
   private:
      coord_t x;
      coord_t y;
};
```

- Si noti l'alias ti tipo pubblico
  - Vogliamo fare in modo che gli utenti possano usare quel nome
- Le funzioni accessorie non cambiano lo stato dell'oggetto
  - Dovrebbero essere dichiarate const

Funzioni membro

```
Point::Point(coord_t ix, coord_t iy) : x(ix), y(iy) {}

Point::coord_t Point::get_x() const { return x; }

Point::coord_t Point::get_y() const { return y; }

void Point::move_to(coord_t new_x, coord_t new_y) {
   x = new_x;
   y = new_y;
}
```

- L'implementazione di funzioni membro può essere datat anche nella stessa definizione di classe

Note

- `this` è un puntatore all'oggetto corrente
- Una struct è come una classe ma tutte le funzioni membro sono pubbliche di default
- Se due classi fanno riferimento l'una all'altra, è necessaria una dichiarazione di classe:

```
class B; // class declaration, "forward declaration"
class A {
    B* pb;
};
class B {
    A* pa;
};
```

Esempio

- Fibonacci (1,1,2,3,5,8,....)

```
class Fibonacci {
public:
   Fibonacci();
   unsigned int value(unsigned int n) const;
};

unsigned int Fibonacci::value(unsigned int n) const {
   int nbr1 = 1;
   int nbr2 = 1;
   for (unsigned int i = 2; i <= n; ++i) {
     int temp = nbr1 + nbr2;
     nbr1 = nbr2;
     nbr2 = temp;
   }
   return nbr2;
}
```

Esempio /2

- Vogliamo rendere fiibonacci più efficiente usando una cache per salvare i risultati precedenti. Aggiungiamo un vector<unsigned int> come funzione membro. Quando Fibonacci::value(n) viene invocato, tutti i numeri di Fibonacci fino a e incluso n saranno salvati nel vettore.
- Il problema è che value è una funzione const, ma necessita di modificre una componente della classe
  - Per rendere possibile questo possiamo dichiarare la componente mutable

```
class Fibonacci {
   …
 private:
   mutable vector<unsigned int> values;
};

Fibonacci::Fibonacci() {
   values.push_back(1);
   values.push_back(1);
}

unsigned int Fibonacci::value(unsigned int n) const {
   if (n < values.size())
   return values[n];
   for (unsigned int i = values.size(); i <= n; ++i)
      values.push_back(values[i - 1] + values[i – 2]);
   return values[n];
}
```

Inizializzazioni

- I membri di una classe possono essere inizializzati in tre modi:

```
class A {
…
private:
  int x = 123; // direct initialization, new in C++11

  const int b;
};

b = 10;

A::A(int ix) : x(ix) {} // constructor initializer
A::A(int ix) { x = ix; } // assignment
```

- Il constructor initializer è da preferire
- I membri che sono riferimenti o const non possono essere asseganti, devono essere inizializzati

Delega ad altri costruttori (C++11)

- Un costruttore può delegare le inizilizzazioni ad altri costruttori

```
class Complex {
public:
    Complex(double r, double i) : re(r), im(i) {}
    Complex(double r) : Complex(r, 0) {}
    Complex() : Complex(0, 0) {}
    …
};
```

- In questo esempio avremmo potuto usare anche i parametri di default:

```
Complex(double r = 0, double i = 0) : re(r), im(i) {}
```

Membri statici

- Una classe che conta il numero di oggetti

```
class Counted {
public:
    Counted() { ++nbrObj; }
    ~Counted() { --nbrObj; }
    static unsigned int getNbrObj() { return nbrObj; }
private:
    static unsigned int nbrObj;
};
unsigned int Counted::nbrObj = 0;
```

- Un membro statico deve essere inizializzato fuori dalla classe

new e delete

- L'uso degli operatori new e delete viene tradotto nella chiamata alle seguenti funzioni che allocano/deallocno memoria

  ```
  void* operator new(size_t bytes);
  void operator delete(void* p) noexcept;
  ```

- Esempio

  ```
  Point* p = new Point(10, 20);
  // allocate raw memory, initialize the object
  // Point* p = static_cast<Point*>(::operator new(sizeof(Point)));
  // p->Point::Point(10, 20);

  delete p;
  // destruct the object, free memory
  // p->~Point();
  // ::operator delete(p);
  ```

-

Copia di oggetti

- Gli oggetti sono copiati in diversi casi
- Inizializzazioni

```
Person p1("Bob");
Person p2(p1);
Person p3 = p1;
```

- Passaggio per valore

```
void f(Person p) { ... }
f(p1);
```

- Assegnamento

```
Person p4("Alice");
p4 = p1;
```

- Funzioni che restituiscono un valore

```
Person g() {
    Person p5("Joe");
    ...
    return p5;
}
```

-

Inizializzazione e assegnamento

- Le seguenti istruzioni sembrano simili ma vengono gestite diversamente in C++:

```
Person p1("Bob");
Person p3 = p1; // initialization
Person p4("Alice");
p4 = p1; // assignment
```

- Inizializzazione:
  - Un nuovo oggetto viene inizializzato con una copia di un altro oggetto.
    - Questo viene gestito dal costruttore di copia della classe Classname(const Classname&).
- Assegnamento:
  - Un oggetto esistente viene sovrascritto con una copia di un altro oggetto
    - Gestito dall'operatore di assegnamento della classe Classname& operator=(const Classname&)

Funzioni copia

- In ogni classe è possibile implementare il costruttore di copia e l'operatore di assegnamento in modo da avere il comportamento desiderato.
- Quando non presenti il compilatore ne sintetizza uno che effettua la copia membro a membro
- Non è necessario scrivere costruttori di copia e operatori di assegnamento se la classe non usa risorse dinamiche

```
class Person {
public:
// this is the copy constructor that the compiler
// creates for you, and you cannot write a better one
Person(const Person& p) : name(p.name), age(p.age) {}
private:
  string name;
  unsigned int age;
};
```

Una classe stringa

- Facciamo un esempio di una classe che alloca e dealloca memoria

```
class String {
public:
    String(const char* s) : chars(new char[strlen(s) + 1]) {
        strcpy(chars, s); // copy s to chars
    }
    ~String() { delete[] chars; }
private:
    char *chars;
};
```

Senza costruttore di copia

- Poiché non abbiamo definito un costruttore di copia il compilatore in caso di necessità effettuerà una copia membro a membro

```
void f() {
    String s1("abc");
    String s2 = s1; // see figure for memory state after copy
}
```

- s1.chars e s2.chars punteranno alla stessa area di memoria
- Quando si uscirà dalla funzione
  - Viene invocato il distruttore su s2 (s2.chars deleted)
  - Viene invocato il distruttore su s1 (s1.chars deleted)
  - **Errore: non si può deallocare due volte la stessa area**

Senza costruttore di copia /2

- Esempio di passaggio per valore

```
void f(String s) {
    …
}
void g() {
    String s1("abc");
    f(s1);
}
```

- Nella chiamata a f(s1), s1 è copiato in s. ora s.chars e s1.chars puntano allo stesso array
- Quando si esce da f, viene invocato il distruttore per s, s.chars deleted. Ora però s1.chars punta alla memoria deallocata e s1 non può più essere utilizzato
- Cosa accade quando si esce da g?

Definire un costruttore di copia

- La classe String deve avere un costruttore di copia che effettua una copia più profonda
  - Non copia i puntatori ma il contenuto dell'area di memoria alla quale puntano

```
String(const String& rhs)
    : chars(new char[strlen(rhs.chars) + 1]) {
        strcpy(chars, rhs.chars);
}

void f() {
    String s1("abc");
    String s2 = s1;
}
```

- Ovviamente ricordate che il costruttore di copia non viene invocato per oggetti passati per riferimento

Assegnamento

- Problemi di copia si verificano anche quando si effettuano assegnamenti

```
void f() {
    String s1("abc");
    String s2("xy");
    s2 = s1;
}
```

- s1.chars e s2.chars puntano alla stessa area di memoria
- Qui la complicazione ulteriore è che abbiamo perso il riferimento al vettore xy che non potrà più essere referenziato
  - Memory leak

Sovraccaricare l'assegnamento

- Per risolvere il problema definiamo il nostro operatore di assegnamento

```
class String {
public:
    String& operator=(const String&);
    …
};
```

- Con questo operatore l'istruzione

```
s1 = s2
```

- viene convertita dal compilatore in

```
s1.operator=(s2)
```

Sovraccaricare l'assegnamento /2

- Implementazione

```
String& String::operator=(const String& rhs) {
    if (&rhs == this) {
        return *this;
    }
    delete[] chars;
    chars = new char[strlen(rhs.chars) + 1];
    strcpy(chars, rhs.chars);
    return *this;
}
```

-

Sovraccaricare l'assegnamento /3

- Dettagli
  - Cancellare il vecchio stato per evitare memory leak
  - Restituire l'oggetto this
  - Verificare gli auto assegnamenti
    - if (&rhs == this)
-

Spostare oggetti

- Il costruttore di copia fa una copia profonda

```
String(const String& rhs)
    : chars(new char[strlen(rhs.chars) + 1]) {
        strcpy(chars, rhs.chars);
}
```

- Se siamo certi che l'oggetto dal quale copiamo non verrà più usato dovremmo scrivere il costruttore di copia nel seguente modo, detto costruttore di spostamento:

```
String(String& rhs) : chars(rhs.chars) {
    rhs.chars = nullptr;
}
```

Spostare oggetti /2

- Ma quando si è certi che l'oggetto dal quale copiamo non verrà più usato?
  - La risposta è che i valori temporanei possono essere spostati poiché verranno distrutti dopo l'uso
    - Il compilatore riconosce i valori temporanei

```
String s1("abc");
String s2("def");
String s3 = s1 + s2; // the result of '+' is a temporary value

void f(String s);
    f("abcd"); // => f(String("abcd")), the argument is a
temporary
    String g() {
    …
    return ...; // the return value is a temporary
}
```

Spostare oggetti /3

- Un lvalue è persistente (variabili) mentre un rvalue non lo è
- rvalue refenrence (C++11)

```
String s1("abc");
String s2("def");
String& sref = s1; // reference bound to a variable
String&& srr = s1 + s2; // rvalue reference bound to a
                        // temporary
```

Spostare oggetti /4

- Ora che si ha un riferimento ad un rvalue si può scrivere il costruttore di spostamento

```
String(String&& rhs) noexcept : chars(rhs.chars) {
    rhs.chars = nullptr;
}

String(const String& rhs)
    : chars(new char[strlen(rhs.chars) + 1]) {
        strcpy(chars, rhs.chars);
}
```

- noexcept (C++11) dice al compilatore che il costruttore non lancierà nessuna eccezione

Spostare oggetti /5

- Una classe che può essere spostata deve avere anche un operatore di assegnamento per movimento

```
String& operator=(String&& rhs) noexcept {
    if (&rhs == this) {
        return *this;
    }
    delete[] chars;
    chars = rhs.chars;
    rhs.chars = nullptr;
}
```

Spostamento esplicito

- A volte il programmatore è certo che è safe spostare un oggetto piuttosto che copiarlo
  - Si può usare la funzione standard std::move per ottenere un riferimento ad un rvlue

```
template <typename T>
inline void swap(T& a, T& b) {
    T temp = std::move(a); // a is moved to temp, a is empty
    a = std::move(b);      // but a isn't used, instead b is
                           // moved to a, b is empty
    b = std::move(temp);   // but b isn't used, instead temp is
                           // moved to b, temp is empty
}                          // but temp isn't used, instead
                           // destroyed
```

Idiomi di costruzione

- Quando una classe gestisce risorse dinamiche deve avere
  - Un distruttore
  - Un costruttore di copia
  - Un operatore di assegnamento
  - Un costruttore di spostamento
  - Un operatore di assegnamento per movimento
- Il costruttore deve inizializzare le componenti della classe
- Il costruttore di copia deve fare una copia profonda delle componenti
- L'operatore di assegnamento deve rilasciare le vecchie risorse allocate
- Il distruttore rilascia tutte le risorse

Vettori di oggetti

- Come abbiamo detto, si dovrebbero usare i vector invece che gli array

```
vector<Person> v; // vector of Person objects
Person p1("Bob");
v.push_back(p1);
// p1 is copied
v.push_back(Person("Alice")); // the object is moved
…
for (const auto& p : v) {
    cout << p.getName() << endl;
}
```

- La classe Person deve avere un costruttore di copia e di movimento

Vettori di puntatori ad oggetti

- Possiamo memorizzare puntatori ad oggetti sull'heap

```
vector<Person*> pv;
Person* p = new Person("Bob");
pv.push_back(p);
…
for (auto pptr : pv) {
    cout << pptr->getName() << endl;
}
…
for (auto pptr : pv) {
    delete pptr;
}
```

- La classe Person deve avere un costruttore di copia e di movimento

Puntatori

- Un puntatore è una variabile che memorizza l'indirizzo di un'altra variabile

```
int *pnPtr;    // a pointer to an integer value
double *pdPtr; // a pointer to a double value
int* pnPtr2;   // also valid syntax
int * pnPtr3;  // also valid syntax
```

- Possiamo assegnare a puntatori solo indirizzi di memoria
  - Per ottenere indirizzi di memoria possiamo usare l'operatore *address-of* (&)

```
int nValue = 5;
int *pnPtr = &nValue;   // assign address of nValue to
                        // pnPtr
```

Puntatori /2

- E' anche solito vedere istruzioni come le seguenti

```
int nValue = 5;
int *pnPtr = &nValue;  //assign address of nValue to pnPtr
cout << &nValue << endl; //print the address of variable nValue
cout << pnPtr << endl; //print the address that pnPtr is holding
```

- Il tipo di un puntatore deve essere uguale al tipo della variabile puntata

```
int nValue = 5;
double dValue = 7.0;
int *pnPtr = &nValue; // ok
double *pdPtr = &dValue; // ok
pnPtr = &dValue;  // wrong -- int pointer cannot point to
                  // double value
pdPtr = &nValue;  // wrong -- double pointer can not point
                  // to int value
```

Puntatori /3

- L'altro operatore usato con i puntatori è quello di *dereferenziazione* (*)
  - Un puntatore dereferenziato corrisponde al valore dell'indirizzo al quale punta

```
int nValue = 5;
cout << &nValue; // prints address of nValue
cout << nValue; // prints contents of nValue
int *pnPtr = &nValue; // pnPtr points to nValue
cout << pnPtr; // prints address held in pnPtr, which is &nValue
cout << *pnPtr; // prints contents pointed to by pnPtr, which is
                // contents of nValue
```

- Avremo in output

```
0012FF7C
5
0012FF7C
5
```

Puntatori e array

- int anArray[5]; // declare array of 5 integers
  - anArray è un puntatore al primo elemento dell'array

```
int anArray[5] = { 9, 7, 5, 3, 1 };
// dereferencing an array returns the first element (element
0)
cout << *anArray; // prints 9!
char szName[] = "Jason"; // C-style string (also an array)
cout << *szName; // prints 'J'
```

Puntatori e array /2

```
const int nArraySize = 7;
char szName[nArraySize] = "Mollie";
int nVowels = 0;
for (char *pnPtr = szName; pnPtr < szName + nArraySize; pnPtr++) {
    switch (*pnPtr) {
        case 'A':
        case 'a':
        case 'E':
        case 'e':
        case 'I':
        case 'i':
        case 'O':
        case 'o':
        case 'U':
        case 'u':
            nVowels++;
            break;
    }
}
cout << szName << " has " << nVowels << " vowels" << endl;
```

Output: Mollie has 3 vowels

Allocazione dinamica di memoria

- Allocazione di variabili

```
int *pnValue = new int; // dynamically allocate an
// integer
*pnValue = 7; // assign 7 to this integer
```

- Quando allochiamo dinamicamente dobbiamo deallocare

```
delete pnValue; // unallocate memory assigned to pnValue
pnValue = 0;
```

  - L'operatore delete dealloca l'area puntata dal puntatore ma non il puntatore stesso

- Allocazione dinamica di vettori

```
int nSize = 12;
int *pnArray = new int[nSize]; // nSize does not need to be
                               // constant!
pnArray[4] = 7;
delete[] pnArray;
```

Memory leaks

- Memoria allocata dinamicamente non ha una visibilità (scope) effettiva
  - Resta allocata fin quando non viene esplicitamente deallocata
  - Però i puntatori per accedere a tale memoria hanno regole di visibilità

```
void doSomething(){
    int *pnValue = new int;
}
```

  - La precedente funzione alloca un intero dinamicamente ma non lo dealloca mai
  - Quando la funzione termina pnValue non è più visibile (è una normale variabile)
  - Poiché pnValue è l'unica variabile che conosceva l'indirizzo dell'intero allocato dinamicamente, quando pnValue viene distrutta non ci sarà più nessun modo per far riferimento a quell'area di memoria allocata dinamicamente
    - **Questo è un memory leak**

Memory leaks /2

- Un memory leak si verifica anche quando un puntatore ad una area di memoria allocata dinamicamente viene riasseganto

```
int nValue = 5;
int *pnValue = new int;
pnValue = &nValue; // old address lost, memory leak results
```

- C'è memory leak anche con la doppia allocazione

```
int *pnValue = new int;
pnValue = new int; // old address lost, memory leak results
```

Passaggio di parametri

- I parametri vengono passati di default per valore
  - Il parametro reale non può essere modificato dalla funzione

```
void foo(int y) {
    using namespace std;
    cout << "y = " << y << endl;
}
int main(){
    foo(5); // first call
    int x = 6;
    foo(x); // second call
    foo(x+1); // third call
    return 0;
}
```

- Vantaggi
  - Si possono passare per valore variabili (x), letterali (6) o espressioni (x+1)
  - Si prevengono i side effects non potendo modificare il parametro reale
- Svantaggi
  - Copiare grandi strutture ha un costo computazionale

Passaggio di parametri /2

- Quando si vuole modificare il parametro reale all'interno della procedura bisogna passare il parametro per riferimento

```
void AddOne(int &y) { // y is a reference variable
   y = y + 1;
}
int main() {
   int x = 5;
   cout << "x = " << x << endl;
   AddOne(x);
   cout << "x = " << x << endl;
   return 0;
}
```

- Output

```
x = 5;
x = 6;
```

Passaggio di parametri /3

- Un modo per passare un parametro per valore, evitando di modificarlo nella funzione, ma senza farne una copia è usando il passaggio per const reference

```
void foo(const int &x){
   x = 6;  // x is a const reference and can not be changed!
}
```

- Regola: passare sempre per const reference a meno che non si necessiti di modificare il parametro reale

Passaggio di parametri /4

- Un ulteriore modo per passare parametri è per indirizzo
  - Il parametro formale deve essere un puntatore

```
void foo(int *pValue){
    *pValue = 6;
}

int main(){
    int nValue = 5;

    cout << "nValue = " << nValue << endl;
    foo(&nValue);
    cout << "nValue = " << nValue << endl;
    return 0;
}
```

Passaggio di parametri /5

- Differenza fra passaggio per riferimento e per indirizzo
  - Il passaggio per riferimento ha una sintassi più chiara
    - I riferimenti sono più sicuri e più facili da usare
  - In termini di efficienza sono la stessa cosa
  - Quando di passa per indirizzo in realtà l'indirizzo è passato per valore
    - Se si cambia l'indirizzo nella funzione in realtà stiamo cambiando la copia temporanea
      - Il parametro reale non verrà cambiato

Passaggio di parametri /6

```
#include <iostream>
 using namespace std;

int nFive = 5;
int nSix = 6;

void SetToSix(int *pTempPtr);

int main() {
    // First we set pPtr to the address of nFive.  Which means *pPtr = 5
    int *pPtr = &nFive;
    cout << *pPtr;  // This will print 5
    // Now we call SetToSix (see function below)
    // pTempPtr receives a copy of the address of pPtr
    SetToSix(pPtr);
    // pPtr is still set to the address of nFive!
    cout << *pPtr;     // This will print 5
    return 0;
}

// pTempPtr copies the value of pPtr!
void SetToSix(int *pTempPtr){
    // This only changes pTempPtr, not pPtr!
    pTempPtr = &nSix;
    cout << *pTempPtr;       // This will print 6
}
```

return

- **Return by value**

```
int DoubleValue(int nX){
    int nValue = nX * 2;
    return nValue; // A copy of nValue will be returned
here
} // nValue goes out of scope here
```

- **Return by reference**
  - Attenzione non si possono restituire reference a variabili locali

```
int& DoubleValue(int nX){
    int nValue = nX * 2;
    return nValue; // return a reference to nValue here
} // nValue goes out of scope here
```

  - Il compilatore darà un messaggio di errore

return /2

- **Return by reference (cont.)**
  - Di solito usata per restituire argomenti passati per reference

```
// This struct holds an array of 25 integers
struct FixedArray25 {
    int anValue[25];
};

// Returns a reference to the nIndex element of rArray
int& Value(FixedArray25 &rArray, int nIndex) {
    return rArray.anValue[nIndex];
}

int main(){
    FixedArray25 sMyArray;
    // Set the 10th element of sMyArray to the value 5
    Value(sMyArray, 10) = 5;
    cout << sMyArray.anValue[10] << endl;
    return 0;
}
```

return /3

- **Return by address**
  - Non si possono restituire indirizzi di variabili locali

```
int* AllocateArray(int nSize) {
    return new int[nSize];
}

int main() {
    int *pnArray = AllocateArray(25);
    // do stuff with pnArray

    delete[] pnArray;
    return 0;
}
```

Sovraccarico di funzioni

- Funzioni con lo stesso nome ma parametri differenti
  - Sommare interi

```
int Add(int nX, int nY){
    return nX + nY;
}
```

  - E se volessimo sommare anche double

```
int AddI(int nX, int nY){
    return nX + nY;
}

double AddD(double dX, double dY){
    return dX + dY;
}
```

Sovraccarico di funzioni /2

- Overloading

```
int Add(int nX, int nY){
   return nX + nY;
}

double Add(double nX, double nY){
   return nX + nY;
}
```

  - Ma anche con un numero di parametri diverso

```
double Add(double nX, double nY, double nZ){
    return nX + nY + nZ;
}
```

I parametri di default

- Un parametro di default è un parametro di una funzione che ha un valore di default

```
void PrintValues(int nValue1, int nValue2=10){
    using namespace std;
    cout << "1st value: " << nValue1 << endl;
    cout << "2nd value: " << nValue2 << endl;
}
int main() {
   PrintValues(1);
   // nValue2 will use default parameter of 10
   PrintValues(3, 4);
   // override default value for nValue2
}
```

Puntatori a funzione

- I puntatori a funzione invece che puntare ad una variabile puntano ad una funzione
  - int foo()
    - foo è un puntatore costante ad una funzione
    - Possiamo dichiarare anche puntatori non costanti a funzioni
  - int (*pFoo) ();
    - pFoo è un puntatore ad una funzione senza parametri di input che restituisce un int

Puntatori a funzione /2

- Selection sort in ordine ascendente

```
bool Ascending(int nX, int nY) {
    return nY > nX;
}

void SelectionSort(int *anArray, int nSize) {
    using namespace std;
    for (int nStartIndex= 0; nStartIndex < nSize; nStartIndex++)  {
        int nBestIndex = nStartIndex;
        // Search through every element starting at nStartIndex+1
        for (int nCurrentIndex = nStartIndex + 1;
   nCurrentIndex < nSize; nCurrentIndex++)  {
            // Note that we are using the user-defined comparison here
             if (Ascending(anArray[nCurrentIndex], anArray[nBestIndex]))
    // COMPARISON DONE HERE
                nBestIndex = nCurrentIndex;
        }
        // Swap our start element with our best element
        swap(anArray[nStartIndex], anArray[nBestIndex]);
    }
}
```

Puntatori a funzione /3

- Possiamo pensare di avere in input anche il puntatore alla funzione che stabilisce il tipo di ordinamento

```
#include <algorithm> // for swap
// Note our user-defined comparison is the third parameter
void SelectionSort(int *anArray, int nSize, bool (*pComparison)(int, int))
{
    using namespace std;
    for (int nStartIndex= 0; nStartIndex < nSize; nStartIndex++)    {
        int nBestIndex = nStartIndex;
        // Search through every element starting at nStartIndex+1
        for (int nCurrentIndex = nStartIndex + 1; nCurrentIndex < nSize;
nCurrentIndex++)
        {
             // Note that we are using the user-defined comparison here
            if (pComparison(anArray[nCurrentIndex], anArray[nBestIndex]))
            // COMPARISON DONE HERE
                nBestIndex = nCurrentIndex;
        }
        // Swap our start element with our best element
        swap(anArray[nStartIndex], anArray[nBestIndex]);
    }
}
```

Puntatori a funzione /4

```
// Here is a comparison function that sorts in ascending order
// (Note: it's exactly the same as the previous Ascending() function)
bool Ascending(int nX, int nY){
    return nY > nX;
}

// Here is a comparison function that sorts in descending order
bool Descending(int nX, int nY){
    return nY < nX;
}

// This function prints out the values in the array
void PrintArray(int *pArray, int nSize){
    for (int iii=0; iii < nSize; iii++)
        cout << pArray[iii] << " ";
    cout << endl;
}

int main(){
    using namespace std;
    int anArray[9] = { 3, 7, 9, 5, 6, 1, 8, 2, 4 };
    // Sort the array in descending order using the Descending() function
    SelectionSort(anArray, 9, Descending);
    PrintArray(anArray, 9);
    // Sort the array in ascending order using the Ascending() function
    SelectionSort(anArray, 9, Ascending);
    PrintArray(anArray, 9);
    return 0;
}
```

Funzioni template

- Supponiamo di avere una funzione per il calcolo del massimo fra due numeri

```
int max(int nX, int nY){
    return (nX > nY) ? nX : nY;
}
```

- Cosa accade se vogliamo calcolare il massimo fra due double?
  - Dobbiamo sovraccaricare la funzione

```
double max(double nX, double nY){
    return (nX > nY) ? nX : nY;
}
```

  - L'implementazione è la stessa della precedente

Funzioni template /2

- In c++ una funzione template è un pattern per la creazione di funzioni simili tra loro
  - Definire una funzione senza specificare esattamente il tipo delle variabili su cui opera
  - Usiamo invece dei segnaposto detti parametri template

```
Type max(Type tX, Type tY){
   return (tX > tY) ? tX : tY;
}
```

  - Dobbiamo però specificare in modo formale al compilatore cosa intendiamo con il segnaposto Type
  - Dobbiamo utilizzare la dichiarazione di parametri template

Funzioni template /3

```
template <typename Type> // this is the template parameter declaration
Type max(Type tX, Type tY){
   return (tX > tY) ? tX : tY;
}
```

- La parola chiave template dice al compilatore che segue una lista di parametri template
- I parametri vengono racchiusi fra <>
- Per definire un parametro template usiamo la parola chiave typename o class
  - Dopo la parola chiave segue il segnaposto

```
int nValue = max(3, 7); // returns 7
double dValue = max(6.34, 18.523); // returns 18.523
char chValue = max('a', '6'); // returns 'a'
```

Funzioni template /4

- Ovviamente sul tipo del parametro template deve essere definito l'operatore <, ad esempio per la funzione max

```
class Cents{
private:
   int m_nCents;
public:
   Cents(int nCents)
      : m_nCents(nCents)   {   }
   friend bool operator>(Cents &c1, Cents&c2)   {
      return (c1.m_nCents > c2.m_nCents) ? true: false;
   }
};
```

Classi template

```
#include <assert.h> // for assert()
class IntArray {
private:
   int m_nLength;
   int *m_pnData;
public:
   IntArray()   {
      m_nLength = 0;
      m_pnData = 0;
   }
   IntArray(int nLength)   {
      m_pnData = new int[nLength];
      m_nLength = nLength;
   }
   ~IntArray()   { delete[] m_pnData; }
   void Erase()   {
      delete[] m_pnData;
      // We need to make sure we set m_pnData to 0 here, otherwise it will
      // be left pointing at deallocated memory!
      m_pnData = 0;
      m_nLength = 0;
   }
   int& operator[](int nIndex)   {
      assert(nIndex >= 0 && nIndex < m_nLength);
      return m_pnData[nIndex];
   }
   int GetLength() { return m_nLength; }
};
```

Classi template /2

```
#include <assert.h> // for assert()


template <typename T>
class Array{
private:
   int m_nLength;
   T *m_ptData;
public:
   Array()   {
      m_nLength = 0;
      m_ptData = 0;
   }
   Array(int nLength)   {
      m_ptData= new T[nLength];
      m_nLength = nLength;
   }
   ~Array()   {       delete[] m_ptData;    }
   void Erase()   {
      delete[] m_ptData;
      // We need to make sure we set m_pnData to 0 here, otherwise it will
      // be left pointing at deallocated memory!
      m_ptData= 0;
      m_nLength = 0;
   }
   T& operator[](int nIndex)   {
      assert(nIndex >= 0 && nIndex < m_nLength);
      return m_ptData[nIndex];
   }
   // The length of the array is always an integer
   // It does not depend on the data type of the array
   int GetLength(){return m_nLength;}; // templated GetLength() function defined below
};
```

Classi template /3

```
int main() {
   Array<int> anArray(12);
   Array<double> adArray(12);

   for (int nCount = 0; nCount < 12; nCount++)    {
      anArray[nCount] = nCount;
      adArray[nCount] = nCount + 0.5;
   }

   for (int nCount = 11; nCount >= 0; nCount--;)
      std::cout << anArray[nCount] << "\t" << adArray[nCount] <<
std::endl;
   return 0;
}
```

Classi template /4

- Expression parameter
  - Un parametro di un template che non sostituisce un tipo ma un valore

```
template <typename T, int nSize> // nSize is the expression parameter
class Buffer{
private:
    // The expression parameter controls the size of the array
    T m_atBuffer[nSize];
public:
    T* GetBuffer() { return m_atBuffer; }
    T& operator[](int nIndex)    {
        return m_atBuffer[nIndex];
    }
};

int main(){
    // declare an integer buffer with room for 12 chars
    Buffer<int, 12> cIntBuffer;
    // Fill it up in order, then print it backwards
    for (int nCount=0; nCount < 12; nCount++)
        cIntBuffer[nCount] = nCount;
    for (int nCount=11; nCount >= 0; nCount--)
        std::cout << cIntBuffer[nCount] << " ";
    std::cout << std::endl;
    // declare a char buffer with room for 31 chars
    Buffer<char, 31> cCharBuffer;
    // strcpy a string into the buffer and print it
    strcpy(cCharBuffer.GetBuffer(), "Hello there!");
    std::cout << cCharBuffer.GetBuffer() << std::endl;
    return 0;
}
```

Classi template /5

- Specializzazione di template
  - A volte è utile dare una implementazione di un metodo specifica per un tipo

```
using namespace std;
template <typename T>
class Storage{
private:
    T m_tValue;
public:
    Storage(T tValue)    {
        m_tValue = tValue;
    }
    ~Storage()    {    }
    void Print()    {
        std::cout << m_tValue << std::endl;
    }
};
```

Classi template /5

- Se volessimo stampare in output i double in formato scientifico dobbiamo specializzare il metodo print come segue

```
void Storage<double>::Print()
{
   std::cout << std::scientific << m_tValue << std::endl;
}
```

Eccezioni

- In c++ è possibile gestire le eccezioni con i costrutti throw, try e catch
- Una istruzione throw viene usata per segnalare che si è verificata una eccezione o un errore (alzare un'eccezione)

```
throw -1; // throw a literal integer value
throw ENUM_INVALID_INDEX; // throw an enum value
throw "Can not take square root of negative number";
// throw a literal char* string
throw dX;
// throw a double variable that was previously defined
throw MyException("Fatal Error");
// Throw an object of class MyException
```

Eccezioni /2

- Le eccezioni vanno poi catturate (catch) all'interno di un blocco try

```
#include "math.h" // for sqrt() function
using namespace std;

int main(){
   cout << "Enter a number: ";
   double dX;
   cin >> dX;
   try // Look for exceptions that occur within try block and route to attached catch
block(s)
   {
      // If the user entered a negative number, this is an error condition
      if (dX < 0.0)
         throw "Can not take sqrt of negative number"; // throw exception of type char*
      // Otherwise, print the answer
      cout << "The sqrt of " << dX << " is " << sqrt(dX) << endl;
   }
   catch (char* strException) // catch exceptions of type char*
   {
      cerr << "Error: " << strException << endl;
   }
}
```

Eccezioni /3

```
#include "math.h" // for sqrt() function
using namespace std;

// A modular square root function
double MySqrt(double dX){
   // If the user entered a negative number, this is an error condition
   if (dX < 0.0)
      throw "Can not take sqrt of negative number"; // throw exception of type char*
   return sqrt(dX);
}

int main(){
   cout << "Enter a number: ";
   double dX;
   cin >> dX;
   try // Look for exceptions that occur within try block and route to attached catch block(s)
   {
      cout << "The sqrt of " << dX << " is " << MySqrt(dX) << endl;
   }
   catch (char* strException) // catch exceptions of type char*
   {
      cerr << "Error: " << strException << endl;
   }
}
```

Stringhe in c++

- Definizione di stringhe #include <string>
  - string sSource("012345678");
- Lunghezza
  - sSource.length()
- Empty: stabilisce se la stringa è vuota
  - sSource.empty()
- Accesso ai singoli caratteri
  - cout << sSource[0]
  - Ssource[3] = 2;

Stringhe in c++ /2

- Assegnamento

```
string sString;
// Assign a string value
sString = string("One");
cout << sString << endl;
const string sTwo("Two");
sString.assign(sTwo);
cout << sString << endl;
// Assign a C-style string
sString = "Three";
cout << sString << endl;
sString.assign("Four");
cout << sString << endl;
// Assign a char
sString = '5';
cout << sString << endl;
// Chain assignment
string sOther;
sString = sOther = "Six";
cout << sString << " " << sOther << endl;
```

Stringhe in c++ /3

- Assegnamento (cont.)

```
const string sSource("abcdefg");
string sDest;
sDest.assign(sSource, 2, 4);
// assign a substring of source from index 2 of length 4
cout << sDest << endl;
```

- Concatenazione

```
string sString("one");
sString += string(" two");
string sThree(" three");
sString.append(sThree);
cout << sString << endl;
```

Stringhe in c++ /4

- Append

```
string sString("one ");
const string sTemp("twothreefour");
sString.append(sTemp, 3, 5);
//append substring of sTemp starting at index 3 of length 5
cout << sString << endl;
```

- Append con +

```
string sString("one");
sString += " two";
sString.append(" three");
cout << sString << endl;
```

Stringhe in c++ /5

- Inserimento

```
string sString("aaaa");
cout << sString << endl;
sString.insert(2, string("bbbb"));
cout << sString << endl;
sString.insert(4, "cccc");
cout << sString << endl;
```

Output:

```
aaaa
aabbbbaa
aabbccccbbaa
```