Lezione II: ripasso di C++ e STL

Laboratorio di Metodi Computazionali e Statistici (2023/2024)

Fabrizio Parodi

DIFI

I/O

```
1  // File Vector.h
2  Vector operator*(double,Vector)
       ;
3  class Vector{
4  public:
5    ...
6    void Print();
7    ...
8  private:
9    double m_v[3];
10 };
```

```
1  // File main.cpp
2  #include <iostream>
3  #include "Vector.h"
4  using namespace std;
5  int main(){
6    Vector a(1,1,1);
7    a.Print();
8    ...
9    return 0;
10 }
```

```
1  // File Vector.cpp
2  #include "Vector.h"
3  ...
4
5  void Vector::Print(){
6    cout<< "( " << m_v[0] << ", "
7                << m_v[1] << ", "
8                << m_v[2] << ")"
                      <<endl;
9    return;
10 }
```

Ridefinizione dell'operatore <<

- Quando scriviamo

```
int i = 7;
std::cout << i;
```

- In realtà stiamo chiamando la funzione

```
operator<<(std::cout, i)
```

  e passando il risultato (per referenza) a std::cout

- Infatti la funzione è definita come

```
std::ostream& operator<<(std::ostream& o, int x)
```

- Esistono anche

```
std::ostream& operator<<(std::ostream& o, float x);
std::ostream& operator<<(std::ostream& o, double x);
std::ostream& operator<<(std::ostream& o, char x);
std::ostream& operator<<(std::ostream& o, std::string s);
```

- Sta a noi definire

```
std::ostream& operator<<(std::ostream& o, Vector v);
```

Ridefinizione dell'operatore <<

- Il fatto che la funzioni ritorni una referenza ad un oggetto std::ostream permette il concatenamento, che è in realtà una serie di chiamate ricorsive (nidificate) alla stessa funzione
  - Vediamo di capirlo assegnando un codice colore differente ad ogni chiamata della funzione

```
int i = 7;
std::cout << " i = " << i << std::endl;
```

- In questo caso abbiamo tre chiamate. Partiamo da sx ricordando il prototipo della funzione

```
std::ostream& operator<<(std::ostream& o, const T &t)
```

vediamo che quando scritto è equivalente a:

```
operator<<( operator<<( operator<<(std::cout, " i = "), i ), std::endl );
```

- Per usare nuovi tipi nella concatenazione è quindi necessario fare l'overloading della funzione << per il tipo in questione

Ridefinizione dell'operatore <<

- Per la classe Complesso l'overloading può essere fatto, per esempio:

```
std::ostream &operator<<(std::ostream &stream, Vector v){
  stream << "(" << v.X() << "," << v.Y() << "," << v.Z() << ")";
  return stream;
}
```

- Cioè si manda nello stream (che poi sarà std::cout)
  - L'apertura di una patentesi tonda
  - Il valore della X
  - Una virgola
  - "..."
- A questo punto il codice

```
Vector v(1,1,1);
std::cout << "v = " << v << std::endl;
```

  produrrà sul terminale

```
v = (1,1,1)
```

Ridefinizione dell'operatore >>

- Per la classe Complesso l'overloading può essere fatto, per esempio:

```
std::istream &operator>>(std::istream &stream, Vector &v){
  double x,y,z;
  stream >> x >> y >> z;
  v.X(x); v.Y(y); v.Z(z);
  return stream;
}
```

- Si noti come in questo caso Vector deve essere passato per referenza (deve essere modificato)

Keyword *friend*

- Serve per permettere ad una funzione (o classe) esterna di accedere ai membri privati della classe
- Prima si dichiara la funzione (fuori dalla classe)
- Poi si dichiara la funzione *friend* della classe

```
1        void func();
2        class myClass(){
3          public:
4          ...
5          friend void func();
6          ...
7          private:
8          ...
9        }
```

la funzione *func* può quindi accedere ai membri privati della classe.

- Questa possibilità può essere molto utile nella ridefinizione di << e >> (per cui abbiamo finora usato l'accesso tramite metodi pubblici).

Const e classi

`const` è una keyword importante del linguaggio C++. Garantisce maggiore modularità (promuovendo "l'accoppiamento debole")

- `const` e argomenti di funzione

```
1  void print(int val)          // per valore, val
2                               //   e' copiato (inefficiente)
3  void print(int& val)         // per ref. (piu' eff.)
4                               //   ma print puo' cambiare val
5  void print(const int& val)   // per ref. (const),
6                               //   print non puo' cambiare val
```

- La keyword `const` garantisce che l'operatore di assegnazione agisca correttamente:
  - Il compilatore può controllare l'assegnamento a const e, nel caso, mandare un messaggio di errore.
  - Tuttavia le classi possono cambiare i loro membri privati. Come controllare ?
  - Basta dire al compilatore quali metodi possono cambiare l'oggetto.

Metodi const

Per default tutti i metodi possono cambiare un oggetto.

```
1  class Vector{
2  public:
3    ...
4    void Print();
5    ...
6  private:
7    double m_v[3];
8  };
9
10 void showVector(const Vector& v){
11   v.Print(); //Errore Print potrebbe cambiare v che e' passato
         const !
12 }
13
14 int main(){
15   Vector v;
16   mostraVector(v);
17 }
```

Metodi const

Soluzione: dichiarare che Print è una metodo che non può modificare i membri privati della classe.

```
1  class Vector{
2  public:
3    ...
4    void Print() const;
5    ...
6  private:
7    double m_v[3];
8  };
9
10 void showVector(const Vector& v){
11   v.Print(); // Ok
12 }
13
14 int main(){
15   Vector v;
16   mostraVector(v);
17 }
```

Auto-riferimento

Come può un metodo di una classe fare riferimento all'oggetto stesso su cui sta agendo ?

- Per ogni istanza di una classe (oggetto) viene definito il puntatore all' oggetto stesso `this`
- Utile quando si vuol fare riferimento all'oggetto nella sua interezza

Immaginiamo di aver già definito l'operatore + (binario) e il - (unario).
L'operatore binario - può essere definito come:

```
1 Vector Vector::operator-(const Vector& b){
2   return Vector( (*this) + (-b) );
3 }
```

Namespace

- Ogni applicazione o programma complesso è spesso composto da più sorgenti; se la stessa variabile globale, funzione o classe è definita in diversi sorgenti si generano conflitti in compilazione.
- I **namespace** evitano tale conflitto fornendo un "contenitore" ad un gruppo di variabili, funzioni, classi (membri del namespace).

```
namespace first{
  int var = 5;
}
namespace second{
  double var = 3.1416;
}
```

Namespace

- Per accedere al singolo membro del namespace si usa l'operatore di risoluzione di ambito `::` (scope).

```
int main(){
  cout << first::var << endl;
  cout << second::var << endl;
  return 0;
}
```

- Alternativamente si può indicare una volta per tutte il namespace che si intende utilizzare evitando poi di specificarlo quando si utilizzano i singoli membri.

```
using namespace second;
int main(){
  cout << var << endl;
  return 0;
}
```

Namespace

- Questo è esattamente quello che facciamo con le funzioni e classi della libreria standard quando scriviamo `using namespace std;`

```
#include <iostream>
using namespsce std;
int main(){
  cout << "Ciao Mondo! " << endl;
  return 0;
}
```

- Alternativamente si può mettere esplicitamente l'operatore di scope

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

Direttiva #ifndef

- Capita spesso, in progetti complessi, di dover includere a cascata lo stesso include file `.h` a cascata.
- Per evitare inclusioni multiple (e quindi errori di compilazione) si usa il costrutto:

```
1 #ifndef _NOMEINCLUDE
2 #define _NOMEINCLUDE
3   Type fun(type1, type2,...);
4 #endif
```

- Alla prima inclusione viene definita la flag `_NOMEINCLUDE` e le dichiarazioni contenute nel seguito.
- Ogni successiva inclusione non ha effetto perchè `_NOMEINCLUDE` è già definito
- Rispettate la convenzione secondo cui il NOMEINCLUDE è il nome del sorgente (e anche del include). Cioè pippo.cpp, pippo.h (e all'interno di pippo.h direttiva ifndef con _PIPPO).

Polimorfismo

Polimorfismo

Polimorfismo

- La frase chiave è **"un'interfaccia più metodi"**
  - Una sola interfaccia (nome di funzione, metodo o classe) applicabile ad argomenti di diverso tipo.
- Nel polimorfismo **"compile-time"** è il compilatore che decide quale implementazione dell'interfaccia chiamare. Due tipologie:
  - Overloading di funzioni e metodi
  - Template: un solo algoritmo generico applicabile a diversi tipi
- Il polimorfismo **"run-time"** serve nei casi in cui il tipo di un oggetto non è noto al momento della compilazione ma solo durante l'esecuzione del programma
  - quindi la risoluzione della corretta implementazione viene fatta dinamicamente durante l'esecuzione
  - questo tipo di polimorfismo richiede classi virtuali, ereditarietà e allocazione dinamica di oggetti

Overloading

- Overloading di funzioni e metodi.
  - Funzioni o metodi con lo stesso nome, ma diverso prototipo
  - Più esattamente, con diversa lista degli argomenti
- Il compilatore decide (compile-time) quale sia la funzione (o metodo) da utilizzare in una determinata circostanza in base alla lista degli argomenti. Dà errore se
  - Ci sono due funzioni con lo stesso nome e la stessa lista di argomenti
  - Se non esiste una versione della funzione con la lista corretta di argomenti

Polimorfismo (con overloading)

```
1  int Max(int min, int max){
2    int tmax=max;
3    if (min>max) tmax=min;
4    return tmax;
5  }
6
7  float Max(float min, float max){
8    float tmax=max;
9    if (min>max) tmax=min;
10   return tmax;
11 }
12
13 double Max(double min, double max){
14   double tmax=max;
15   if (min>max) tmax=min;
16   return tmax;
17 }
```

Cosa sono i template ?

- Se un algoritmo è indipendente dal tipo degli argomenti è possibile definire una funzione in modo parametrizzato (template), dove il tipo (o i tipi) non è definito in modo esplicito ma è un parametro.
- Questa funzione templata potrà essere utilizzata (specializzata) senza alcuna modifica di codice per qualsiasi nuovo tipo (classe).

Esempio (con template)

```
1  template <class T>
2  T Max(T min, T max){
3     T tmax=max;
4     if (min>max) tmax=min;
5     return tmax;
6  }
7
8  double a=5.,b=6.;
9  cout << Max(a,b) << endl;    // chiama Max(double,double)
10
11 int i=5,j=6;
12 cout << Max(i,j) << endl;    // chiama Max(int,int)
```

La keyword `class` non ha qui il significato usuale: indica che `T` è il nome di un tipo (anche nativo), e non necessariamente di una classe.

Classi template

- È anche possibile definire classi template
  - In questo caso il tipo di uno o più dati membro diventa un parametro

```
1  template <class T>
2  class complex{
3   public:
4     ...
5   private
6     T im,re;
7  }
8
9  complex          myComplex;          // Errore di compilazione
10 complex<int>     myIntComplex;       // complesso di interi
11 complex<double>  myDoubleComplex;    // complesso di double
```

Template: osservazioni

- La definizione di una funzione template non è ancora codice, ma lo diventerà una volta che essa viene usata.
- Il fatto che il compilatore generi codice concreto solo una volta che una funzione è usata ha come conseguenza che una template function non può essere mai raccolta in una libreria precompilata.
- Un template va inteso come una sorta di dichiarazione e fornito in un header file (che però deve contenere dichiarazione e definizione delle funzioni).

STL: Standard Template Library

`http://www.sgi.com/tech/stl`
La stessa Libreria Standard del C++ mette a disposizione strutture precostituite di classi template. In particolare, La Standard Template Library fornisce:

- **container** che rappresentano le strutture dati di base;
- **iteratori** che generalizzano il concetto di puntatore C/C++;
- **algoritmi generici** che operano sui container attraverso iteratori

Combinazioni di algoritmi, container e iteratori: realizzazione di componenti di alto livello garantendo efficienza e ri-utilizzabilità.

Contenitori sequenziali

- vector: il contenitore più completo; memorizza un array monodimensionale, ai cui elementi può accedere in modo "random", tramite iteratori ad accesso casuale e indici; può modificare le sue dimensioni, espandendosi in base alle necessità.
- list: rispetto a vector manca dell'accesso tramite indice e di varie operazioni sugli iteratori, che non sono ad accesso casuale ma bidirezionali; è più efficiente di vector nelle operazioni di inserimento e cancellazione di elementi.
- deque: misto tra `vector` e `list`: ha accesso random ed è più efficiente di vector per inserimenti in testa ed in coda. Attenzione: non è però garantito che gli elementi siano contigui in memoria

```
1 vector<double>  v;
2 ...
3 double *p;
4 p = v;
5 cout << p[1] << endl;    // Se esiste e' sicuramente la seconda
6                          // componente del vector v.
7                          // Non vero in generale per deque
```

Vector

- `vector` è la generalizzazione della STL dell'array C (e gestisce la memoria autonomamente)
- Un oggetto memorizzato in un `vector` dovrà possedere almeno un costruttore e gli operatori di $<$ e $==$
- Alcuni esempi:

```
1 #include <vector>
2 vector<int>   iv       // vett. int di lunghezza 0
3 vector<float> v(5)    // vett. float da 5 elem.
4 vector<float> v(5,0) // vett. float da 5 elem. = 0
```

Vector

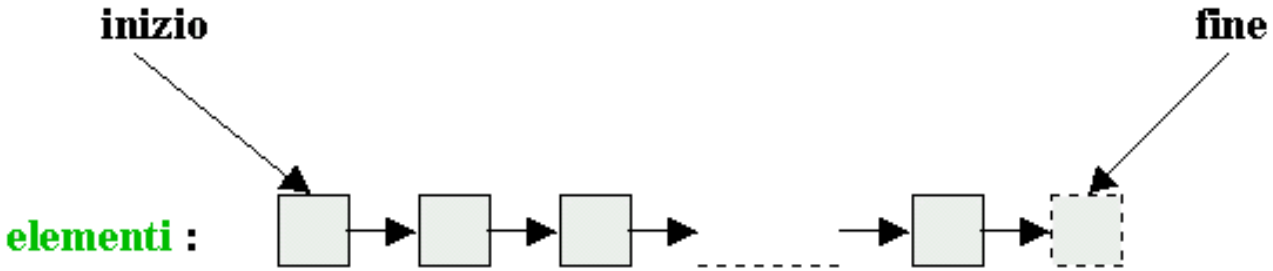
- È definito l'operatore di indicizzazione `[]` che opera in modo simile agli array
- Esistono diverse funzioni membro, tra le quali
  - `int size()`
    restituisce la dimensione corrente del vettore
  - `void push_back(const T& x)`
    aggiunge un valore alla fine del vettore (espandendone dinamicamente le dimensioni le dimensioni se necessario)
  - `void clear()`
    cancella tutti gli elementi
  - `T& at(int i)`
    come `[]` ma controlla che l'indice sia valido.

Vector: esempio

```
1 #include <vector>
2 vector<int> v;
3 v.push_back(3);                          // inserisce 3
4 v.push_back(4);                          // inserisce 4
5 cout << v.size() << endl;                // stampa 2
6 cout << v[0] << " " << v[1] << endl;     // stampa 3 4
```

Iteratori

Sono una generalizzazione dei puntatori C++ in grado di lavorare in maniera uniforme su strutture dati di tipo diverso.



Un iteratore "punta" a un elemento e fornisce un'operazione per far sì che l'iteratore stesso possa puntare all'elemento successivo della sequenza. La fine di una sequenza corrisponde a un iteratore che "punta" all'ipotetico elemento che segue immediatamente l'ultimo elemento della sequenza (non esiste un iteratore NULL, come nei normali puntatori).

Iteratori

Operazioni fondamentali

- accesso all'elemento puntato, tramite dereferenziazione `*` o `->`
- passaggio all'elemento successivo (operatore ++).
- test di uguaglianza == o disuguaglianza `!=`

Dichiarazione:

```
container<T>::iterator it;
```

Metodi principali:

- `v.begin()` ritorna un iteratore che punta al primo elemento del vettore
- `v.end()` ritorna un iteratore che punta all'ipotetico elemento che segue l'ultimo (e pertanto non si deve mai dereferenziare).

Iteratori: esempio

```
1  vector<double> v;
2  v.push_back(5.0);
3  v.push_back(2.0);
4  v.push_back(7.0);
5  vector<double>::iterator it;
6  vector<double>::iterator end=v.end();
7  for (it=v.begin();it!=end;it++)
8    cout << *it << endl;
```

Iteratori: esempio (C++11)

- `auto` è una nuova parola *keyword* del linguaggio che consente di dichiarare oggetti senza doverne specificare esplicitamente il tipo qualora la dichiarazione dell'oggetto includa già un inizializzazione.

```
1  vector<double> v;
2  v.push_back(5.0);
3  v.push_back(2.0);
4  v.push_back(7.0);
5  for (auto it=v.begin();it!=v.end();it++)
6    cout << *it << endl;
```

Iteratori: esempio (C++11)

- **range based for loop** opera su strutture x che supportino il concetto di iterazione, ovvero:
  - abbiano le funzioni membro x.begin() e x.end() , oppure,
  - abbiano le funzioni non-membro begin(x) e end(x) , oppure,
  - per le quali esistono le specializzazioni di std::begin(x) e std::end(x).

```
1  vector<double> v;
2  v.push_back(5.0);
3  v.push_back(2.0);
4  v.push_back(7.0);
5
6  for (double x: v)
7    cout << x << endl;
8
9  // oppure
10 for (auto x: v)
11   cout << x << endl;
```

Iteratori

Metodi di `vector` che prendono gli iteratori come parametri[1]

```
1  v.insert(v.begin(),5);
2  // inserisce in cima a v 5
3  v.erase(v.begin());
4  // cancella il primo elemento
5  v.erase(v.begin(),v.end());
6  // cancella tutti gli elementi di v
```

[1] Per la lista completa consultare ad esempio `http://www.cplusplus.com/reference/stl/vector/`

Contenitori associativi

- map: è il più importante dei contenitori associativi; memorizza una sequenza di coppie (chiave e valore mappato, entrambi parametri di map) e fornisce un'accesso rapido a ogni elemento tramite la sua chiave (ogni chiave deve essere unica all'interno di un map); mantiene i propri elementi in ordine crescente di chiave.
  L' operazione caratteristica su di esso è l'accesso tramite chiave (chiamiamo m un oggetto di map):

  ```
  valore mappato = m[chiave]    o
  m[chiave] = valore mappato
  ```

  che funziona sia in estrazione che in inserimento; in ogni caso cerca l'elemento con quella chiave: se lo trova, estrae (o inserisce) il valore mappato.
- set: è un contenitore associativo analogo a map, con la differenza che possiede solo la chiave (e quindi ha un solo parametro); in pratica è una sequenza ordinata di valori unici e crescenti.
- multimap, multiset: analoghi con la differenza che la chiave può essere duplicata.

Map

- La classe `map` definisce un contenitore associativo in cui delle chiavi (uniche) sono associate a dei valori
- Una mappa è quindi un insieme di coppie chiave/valore
- È ordinata, quindi per memorizzare un tipo di dato in una mappa deveno essere definiti (oltre al costruttote) almeno gli operatori $<$ e $==$.
- Dichiarazione:

```
map<Key,T> nome_mappa;
```

- `first`
  è il membro che contiene la chiave;
- `second`
  è il membro che contiene il valore;

Map: esempio

```
1  #include <map>
2  map<char,int> m;
3  m['b'] = 5;
4  m['a'] = 7;
5  map<char,int>::iterator it  = m.begin();
6  map<char,int>::iterator end = m.end();
7  while(it!=end){
8    cout << "coppia: " << it->first  << " "
9                       << it->second << endl;
10   it++;
11 }
12 // stampera'
13 // coppia: a 7
14 // coppia: b 5
```

N.B. Gli elementi sono ordinati secondo la chiave

Map: esempio (C++11)

```
1 #include <map>
2 map<char,int> m;
3 m['b'] = 5;
4 m['a'] = 7;
5 for (auto el: m)
6   cout << "coppia: " << el.first  << " "
7                      << el.second << endl;
8 }
```

Set

Tipo di contenitore associativo in cui la chiave ed il valore coincidono

```
1  #include <set>
2  set<double> x;
3  x.insert(5);
4  x.insert(4);
5
6  for (auto comp : x)
7    cout << comp << endl;
8
9  // stampera'
10 // 4
11 // 5
```

Algoritmi

La STL mette a disposizione una sessantina di funzioni template, dette "algoritmi" e definite nell'header-file `<algorithm>`.

Gli algoritmi operano sui contenitori, o meglio, su sequenze di dati. Fra gli argomenti di ingresso di un algoritmo è sempre presente almeno una coppia di iteratori (di tipo parametrizzato) che definiscono e delimitano una sequenza: il primo iteratore punta al primo elemento della sequenza, il secondo iteratore punta alla posizione che segue immediatamente l'ultimo elemento.

Nella chiamata di un algoritmo gli argomenti che esprimono i due iteratori devono essere dello stesso tipo. A parte questa limitazione (peraltro ovvia), gli algoritmi sono perfettamente generici, nel senso che possono operare su qualsiasi tipo di contenitore (e su qualsiasi tipo degli elementi), purché provvisto di iteratori.

Algoritmi

Alcuni esempi:

- `void sort(iterator begin, iterator end)`
  ordina gli elementi in ordine ascendente secondo il $<$ definito per la classe T
- `void sort(iterator begin, iterator end, bool cmp(const T&, const T&))`
  ordina gli elementi del vettore in ordine ascendente utilizzando il risultato di `cmp` invece di $<$.
- `iterator find(iterator start, iterator end, const T&val)`
  cerca il valore `val` tra `start` e `end`. Se lo trova ne ritorna l'iteratore altrimenti ritorna un iteratore a `end()`

Funzione template (in C++)

In C++ è possibile utilizzare una classe della Standard Template Library

- Dichiarazione:

```
std::function <Return_type(parameters)>
    nome_funzione_generica;
```

- Esempio:

```
#include <functional>
double square(double x) {
  return x*x ;
}
int main() {
  std::function <double(double)> generic_f;
  generic_f = square ;
  cout << square(5.0) << endl ;        // Chiamata diretta
  cout << generic_f(5.0) << endl ;     // Chiamata via classe
      template
}
```

Applicazione: ordinamento di un vettore

```
1  int main(){
2    vector<double> v;
3    v.push_back(1.0);
4    v.push_back(3.0);
5    v.push_back(2.0);
6    v.push_back(10.0);
7
8    sort(v.begin(),v.end());
9
10   auto it=v.begin();
11   while(it!=v.end()){
12     cout << *it++ << endl;
13   }
14
15 }
```

Esercizio riassuntivo

Si parte dalla classe `Vector.h`, `Vector.cpp`

- Estensione delle funzionalità: modulo e versore (entrambi sfruttando *this*) e opzionalmente prodotto scalare e vettore (non saranno sfruttate nell'esercitazione ma sono in generale utili per una classe Vector completa)
- Creazione di un programma di test che:
  - Lettura da file di un vector di Vector (da file `punti.dat`)
  - Calcolo del vettore somma (con range-based-for-loop)

Per partire da quanto fatto a lezione date il comando

```
git clone https://github.com/fabrizio-parodi/LabMCS-Es0.git Es0
```