Sommario

- Parola chiave `friend`:
  - Funzioni e metodi .
- Operatori sovraccaricati:
  - `operator-()`
  - `operator+()`
  - `operator==()`
  - `operator<<()`
  - `operator=()`
  - `operator[]()` e `operator()()`
- Metodi indispensabili
  - Costruttori, distruttore, costruttore per copia e operatore di assegnamento.
- Esempio di tipo definito dall'utente, la classe `FloatArray`

Funzioni `friend`

- Il meccanismo delle funzioni `friend` consente ad una classe di accordare ad alcune funzioni l'*accesso* ai suoi *membri non pubblici*.

- La dichiarazione di una funzione `friend` comincia con la parola chiave `friend` e può comparire solo in una definizione di classe.
- Si possono anche dichiarare `friend` funzioni membro di un'altra classe definita precedentemente o un'intera classe (in tal caso tutti i metodi hanno l'accesso ai membri non pubblici della classe che accorda la qualifica di `friend`).

Funzioni `friend`

- In generale, si deve cercare di minimizzare il numero di funzioni che hanno accesso alla rappresentazione interna di una classe.
- L'uso delle dichiarazioni `friend` è comune con gli operatori sovraccaricati.
- Si utilizzano anche se si devono manipolare oggetti di classi distinte o per operazioni di uso generale.

- *Vediamo un esempio in cui si implementa una funzione per copiare un oggetto di tipo `Pixel` in un oggetto di tipo `Point`.*

Funzioni `friend`: esempio

Point.h

```
#ifndef POINT_H
#define POINT_H
class Pixel;
class Point{
   double x,y;
public:
   Point(double a, double b);
   ~Point();
   void Print()const;

   friend void Pixel2Point(
Point& po, const Pixel& pi);

};
#endif
```

Point.cpp

```
#include "Point.h"
#include <iostream>
using namespace std;

Point::Point(double a,double b)
   : x(a),y(b){
   cout<<"Point()"<<endl;
}
Point::~Point(){
   cout<<"~Point()"<<endl;
}
void Point::Print() const{
   cout<<"Point: ("<<x<<",
   "<<y<<")"<<endl;
}
```

Per semplicità non sono stati implementati i metodi `Set` e `Get` per leggere e scrivere lo stato degli oggetti.

Funzioni `friend`: esempio

Pixel.h

```
#ifndef PIXEL_H
#define PIXEL_H
class Point;
class Pixel{
   int r,c;
public:
   Pixel(int a, int b);
   ~Pixel();
   void Print()const;

   friend void Pixel2Point(
Point& po,const Pixel& pi);

};
#endif
```

Pixel.cpp

```
#include "Pixel.h"
#include <iostream>
using namespace std;
Pixel::Pixel(int a, int b):
   r(a),c(b){
   cout<<"Pixel()"<<endl;
}
Pixel::~Pixel(){
cout<<"~Pixel()"<<endl;
}
void Pixel::Print() const{
   cout<<"Pixel: ("<<r<<",
   "<<c<<")"<<endl;
}
```

Per semplicità non sono stati implementati i metodi `Set` e `Get` per leggere e scrivere lo stato degli oggetti.

Funzioni `friend`: esempio

Funzioni.cpp

```
#include "Point.h"
#include "Pixel.h"
void Pixel2Point(Point& po, const Pixel& pi){
   po.x = pi.c;
   po.y = pi.r;
}
```

Test.cpp

```
#include "Point.h"
#include "Pixel.h"
#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
   Pixel pi1(1,2);
   Point po1(-3.1,0);
   pi1.Print();
   po1.Print();

   Pixel2Point(po1,pi1);
   po1.Print();
   return 0;}
```

La funzione può accedere ai membri privati, in tal modo si risparmiano quattro chiamate a metodi: due `Get` sull'oggetto `Pixel` e due `Set` sull'oggetto `Point`

Una possibile uscita

```
Pixel()
Point()
Pixel: (1, 2)
Point: (-3.1, 0)
Point: (2, 1)
~Point()
~Pixel()
```


Operatori sovraccaricati

- L'*overloading degli operatori* permette al programmatore di definire versioni specifiche degli operatori predefiniti che usino come operandi oggetti di una classe.
- In tal modo si rende la *manipolazione* degli *oggetti* altrettanto *intuitiva* di quella dei tipi predefiniti.
- Si pensi, per esempio, alla possibilità di sottrarre due oggetti utilizzando l'operatore –, oppure di visualizzare un oggetto attraverso l'operatore <<.

```
Immagine a("im1.pgm"),b("im2.pgm"),c;
c=a-b;
cout<<c;
```


Operatori sovraccaricati

- Un operatore sovraccaricato è dichiarato nel corpo della classe allo stesso modo di una normale funzione membro, il suo nome è costituito dalla parola chiave `operator` seguito da uno degli operatori del C++.

```
const Immagine operator-(const Immagine &o) const;
```

- Alcune regole:
  - È possibile sovraccaricare solo operatori predefiniti.

Operatori sovraccaricati

– Il significato di un operatore non può essere cambiato per i tipi predefiniti. Si può solo sovraccaricare operatori per operandi di una classe.
– La precedenza predefinita non può essere modificata.
– La *arità* (numero di argomenti) predefinita degli operatori va conservata.
– Non possono essere sovraccaricati i seguenti operatori: `::` `.*` `.` `?:`

Operatori sovraccaricati

- Per definire *quali operatori offrire* è buona norma: (1) definire l'*interfaccia pubblica* della classe (*quali operazioni deve offrire la classe ai suoi utenti*); (2) scegliere quali metodi possono essere più semplici ed intuitivi da usare se definiti come operatori.
- Ogni operatore ha associato un *significato* che gli deriva dal suo uso con i tipi predefiniti: è importante che *non sia ambiguo* il suo significato sovraccaricato.
- Per esempio un metodo per la verifica dello stato `isEmpty()` potrebbe essere sostituito da `operator!()`, oppure `isEqual()` con `operator==()` e `copy()` con `operator=()`.

Operatori sovraccaricati

- Un *operatore* sovraccaricato è considerato *membro* di una classe solo quando viene usato con un *operando sinistro* oggetto della classe.
- Se l'operando sinistro non è oggetto della classe (si pensi all'operatore <<: per esempio `cout<<c;`) allora si deve dichiarare l'operatore `friend`.
- Devono essere membri i seguenti operatori: `=` `[]` `()` `->`

Operatori sovraccaricati: esempio

- Introduciamo alcuni operatori che agiscono per una semplice classe `Complex` che rappresenta un numero complesso in virgola mobile: in tal modo possiamo porre attenzione alle dichiarazioni degli operatori, mentre il loro significato è noto.
- Descriviamo ogni operatore: dal comportamento con i tipi predefiniti definiamo quello per i tipi definiti dall'utente.

Operatori sovraccaricati: –

```
int a=3;
cout<< -a;
```

- Operatori *unari*:
  - `operator-()`, non modifica l'oggetto quindi è `const` e ritorna un nuovo oggetto della stessa classe con il segno cambiato. L'oggetto ritornato può essere `const` per evitare che vi si invii un messaggio la cui azione potrebbe andare persa.

Operatori sovraccaricati: +

- Operatori *binari*:

TIPO PREDEFINITO

```
int a=3,b=5,c;
c=a+b;
```

  - `operator+()`, crea un nuovo valore somma, quindi ritorna un nuovo oggetto della stessa classe. Non modifica gli oggetti operandi quindi possono essere `const` (e *reference*).

TIPO DEFINITO DALL'UTENTE

```
Immagine a("im1.pgm"),b("im2.pgm"),c;
c=a+b;
c=a.operator+(b);
```


Operatori sovraccaricati: ==

TIPO PREDEFINITO

```
int a=1,b=4;
if(a==b) ...
```

  - `operator==()`, verifica se due oggetti sono uguali, quindi torna un `bool`. Non modifica gli oggetti operandi quindi possono essere `const` (e *reference*).

TIPO DEFINITO DALL'UTENTE

```
Immagine a("im1.pgm"),b("im2.pgm");
if(a==b) ...
if(a.operator==(b)) ...
```


Operatori sovraccaricati: <<

TIPO PREDEFINITO

```
int a=3
cout<< a;
```

  - `operator<<()`: deve agire su *reference* dello *stream* di uscita per poterlo modificare, inoltre deve tornare un *reference* allo stesso *stream* per permettere la concatenazione delle espressioni di stampa. Non modifica l'oggetto che si vuole stampare, quindi può essere `const` (e *reference*) .

TIPO DEFINITO DALL'UTENTE

```
Immagine a("im1.pgm");
cout<<a;
operator<<(cout,a);
```

Operatori sovraccaricati: Complex.h

```
#ifndef COMPLEX_H
#define COMPLEX_H
#include <iostream>

class Complex{
   double re,im;

public:
   Complex(double r=0, double i=0);
   ~Complex();
   void SetReIm(double r, double i);
   void GetReIm(double *r, double *i)const;

   const Complex operator-() const;
   const Complex operator+(const Complex &o)const;
   bool operator==(const Complex &o)const;

   friend std::ostream& operator<<(std::ostream& os, const Complex &o);
};
#endif
```


Operatori sovraccaricati: Complex.cpp

```
#include "Complex.h"
#include <iostream>
using namespace std;

Complex::Complex(double r, double i){
   re=r;  im=i;
   cout<<"Complex()"<<endl;
}
Complex::~Complex(){
   cout<<"~Complex()"<<endl;
}

void Complex::SetReIm(double r, double i){
   re=r;  im=i;
}
void Complex::GetReIm(double *r, double *i)const{
   *r=re;  *i=im;
}
```

Il metodo `SetReIm` modifica lo stato cambiando il valore della parte reale e immaginaria

Il metodo `GetReIm` legge lo stato, assegnando il valore della parte reale e immaginaria ai parametri puntatore

Operatori sovraccaricati: Complex.cpp

```
const Complex Complex::operator-() const{
   Complex tmp;
   tmp.re=-re;
   tmp.im=-im;
   return tmp;
}
```

Il metodo `operator-` crea un oggetto temporaneo, ne modifica lo stato e lo ritorna. Viene invocato il costruttore per copia durante il ritorno.

```
const Complex Complex::operator+(const Complex &o)const{
   Complex tmp;
   tmp.re= re + o.re;
   tmp.im= im + o.im;
   return tmp;
}
```

Il metodo `operator+` crea un oggetto temporaneo, ne modifica lo stato e lo ritorna. I nuovi valori sono la somma dello stato dell'oggetto corrente (operando di sinistra) e lo stato dell'oggetto `o` (operando di destra).

Operatori sovraccaricati: Complex.cpp

```
bool Complex::operator==(const Complex &o)const{
   bool tmp;
   tmp= (re==o.re) && (im==o.im);
   return tmp;
}
```

Il metodo `operator==` verifica lo stato dei due oggetti (operando di sinistra e di destra, `o`)

La funzione `operator<<` (non è membro della classe) stampa lo stato dell'oggetto (operando di destra, `o`) e ritorna lo stream di uscita. `showpos` è un manipolatore per modificare lo stato di formattazione dell'uscita: visualizza il segno + nella stampa dei valori positivi.

```
ostream& operator<<(ostream& os, const Complex &o){

   os<<o.re<<" "<<showpos<<o.im<<"i";
   return  os;
}
```

Operatori sovraccaricati: Test.cpp

```
void test(){
   Complex c1, c2(1,2);
   c1.SetReIm(-3,3);
   double r,i;
   c2.GetReIm(&r,&i);
   cout<<"c2: "<<r<<" "<<i<<endl;
   cout<<"----------------"<<endl;
   cout<< -c2 <<endl;
   cout<<"----------------"<<endl;
   c1=c1+c2;
   cout << c1 <<endl;
   cout<<"----------------"<<endl;
   if (c1==c2)
        cout<<"uguali"<<endl;
   else
        cout<<"diversi"<<endl;
   cout<<"----------------"<<endl;
}
```

Una possibile uscita

```
Complex()
Complex()
c2: 1 2
----------------
Complex()
~Complex()
-1 -2i
~Complex()
----------------
Complex()
~Complex()
~Complex()
-2 +5i
----------------
diversi
----------------
~Complex()
~Complex()
```

Costruttore oggetto tmp

Costruttore per copia invocato per l'oggetto di ritorno

Operatori sovraccaricati: =

- L'assegnamento di un oggetto ad un altro della sua classe è gestito dall'*assegnamento di default membro a membro*. La meccanica è essenzialmente la stessa dell'inizializzazione di default membro a membro (costruttore per copia), ma fa uso di un *operatore implicito di assegnamento* per copia al posto del costruttore per copia.
- Se il costruttore per copia di default membro a membro è inadatto per la classe, lo è anche l'*assegnamento di default membro a membro.*

Operatori sovraccaricati: =

- Si può definire un operatore esplicito di *assegnamento per copia*, `operator=()`, con cui si implementa la semantica corretta di copia per la classe. Ad esempio per la classe `ArrayStack`:

```
ArrayStack& ArrayStack::operator=(const ArrayStack &r){
        if(this != &r){
        size=r.size;
        isize=r.isize;
        top=r.top;
        delete [] data;
        data = new char[size];
        for(int i=0;i<=top;i++)
                data[i]=r.data[i];
        cout<<"operator=(const ArrayStack &r)"<<endl;
        }
        return *this;
}
```


Operatori sovraccaricati: =

- Il test condizionale impedisce l'assegnamento di un oggetto a se stesso: è inopportuno nel caso in cui per prima cosa si libera una risorsa associata all'oggetto a sinistra (`delete [] data`) per assegnarvi la corrispondente risorsa (`r.data`) associata allo stesso oggetto a destra dell'assegnamento.

Operatori sovraccaricati: =

```
void TestOperatoreAssegnamento()
{
        ArrayStack  s1(10);
        for(int i=0; i<26; i++)
                s1.Push('a'+i);

        ArrayStack s2;
        s2=s1;
}
```

Una possibile uscita

```
ArrayStack() Dimensione iniziale 10
Raddoppiamento Array --- Nuova dimensione 20
Raddoppiamento Array --- Nuova dimensione 40
ArrayStack() Dimensione iniziale 5
operator=(const ArrayStack &r)
~ArrayStack()
~ArrayStack()
```


Operatori sovraccaricati: =

- Analogamente possiamo definire un operatore esplicito di *assegnamento per copia*, `operator=()` per la classe `LinkedList`:

```
LinkedList& LinkedList::operator=(const LinkedList &r){
        if(this != &r){
        Clear();
        for(Node *i=r.first; i!=0; i=i->GetLink())
                Add(i->GetData());
        cout<<"operator=(const LinkedList &r)"<<endl;
        }
        return *this;
}
```


Operatori sovraccaricati: =

```
void TestOperatoreAssegnamento()
{
        LinkedList l1;
        l1.Add('a');
        l1.Add('b');
        l1.Add('c');
        l1.Print();
        LinkedList l2;
        l2=l1;
        l2.Print();
}
```

Una possibile uscita

```
Node(a)
Node(b)
Node(c)
a b c
Node(a)
Node(b)
Node(c)
operator=(const LinkedList &r)
a b c
~Node(a)
~Node(b)
~Node(c)
~Node(a)
~Node(b)
~Node(c)
```


Operatori sovraccaricati

Note.

- Se per una classe sono definiti gli operatori `operator+()` e `operator=()`, questi *non* supportano implicitamente l'equivalente operatore composto di assegnamento `+=`. È necessario definire esplicitamente l'operatore sovraccaricato `operator+=()`.
- L'implementazione dell'operatore di assegnamento ha la *semantica del valore*, cioè due oggetti dopo l'assegnamento sono distinti e successive modifiche ad un oggetto non hanno effetto sull'altro.

Metodi indispensabili

- Se una classe `X`, tipo definito dall'utente, possiede un costruttore e, quindi, un distruttore che eseguono compiti non banali (per esempio *allocare e deallocare memoria dinamica)*, deve gestire anche il costruttore per copia e l'operatore di assegnamento. Per evitare che vengano usati quelli di default.

- In generale, una classe che in un qualsiasi metodo acquisisce risorse deve avere un metodo che libera le risorse acquisite: per esempio il metodo `Add()` e `Remove()` della `LinkedList` o `RaddoppiaArray()` e `DimezzaArray()` di `ArrayStack`.

Metodi indispensabili

- In generale, per un tipo `X`, il costruttore per copia `X(const X& o)` si occupa dell'*inizializzazione* per mezzo di un oggetto dello stesso tipo, cioè acquisisce risorse e inizializza.
- L'operatore di assegnamento tra oggetti di tipo `X X& operator=(const X& o)` prima si occupa di liberare le risorse e poi di acquisirle per l'oggetto di sinistra e di inizializzarlo.

Metodi indispensabili

```
class X{
  //...
  X(...);
  X(...);

  ~X();

  X(const X&);

  X& operator=(const X&);
  //...
};
```

L'insieme dei costruttori acquisiscono le risorse

Il distruttore libera le risorse

Il costruttore per copia acquisisce le risorse a partire da un altro oggetto

L'operatore di assegnamento prima libera le risorse e poi le acquisisce

Esempio: la classe `FloatArray`

- Come esempio si implementa una classe che *gestisce* l'allocazione dinamica di un array di `float`.
- Usare una classe (*wrapper*) rende l'utilizzo di certe operazioni più "sicuro" e "semplice", per esempio:
  - La deallocazione della memoria è automaticamente eseguita dal distruttore.
  - Si possono inserire dei controlli sul valore degli indici.
  - Si possono fornire funzionalità di stampa.
  - Si possono fornire operazioni implementate con operatori sovraccaricati.
  - Si può fornire un metodo che ritorna la dimensione dell'array.

Esempio: *FloatArray.h*

```
#ifndef FLOATARRAY_H
#define FLOATARRAY_H
#include <iostream>

class FloatArray{
   int size;
   float *data;
public:
   FloatArray(int dim=8, float val=0);
   ~FloatArray();
   FloatArray(const FloatArray &o);
   FloatArray& operator=(const FloatArray &r);

   int Length()const;
   float& operator[](int index);
   float& operator()(int index);
   const FloatArray operator+(const FloatArray &r) const;
   const FloatArray operator+(float x) const;
   friend std::ostream& operator<<(std::ostream &os, const
                                   FloatArray &r);
};
#endif
```


Esempio: *FloatArray.cpp*

```
#include "FloatArray.h"
#include <iostream>
#include <cassert>
using namespace std;
```

Nell'esempio si fa uso della macro `assert()` fornita nella Libreria Standard del linguaggio C. Tale macro è utile per verificare una condizione: se la condizione risulta falsa, l'asserzione non è valida e viene stampato un messaggio diagnostico e l'esecuzione del programma si interrompe

```
FloatArray::FloatArray(int dim, float val){
   size=dim;
   data = new float[size];
   for(int i=0;i<size;i++)
        data[i]=val;
   cout<<"FloatArray("<<size<<","<<val<<")"<<endl;
}

FloatArray::~FloatArray(){
   delete [] data;
   cout<<"~FloatArray()"<<endl;
}
```

Il costruttore acquisisce le risorse e inizializza

Il distruttore libera le risorse

Esempio: *FloatArray.cpp*

```
FloatArray::FloatArray(const FloatArray &o){
   size=o.size;
   data = new float[size];
   for(int i=0;i<size;i++)
        data[i]=o.data[i];
   cout<<"FloatArray(const FloatArray& o)"<<endl;
}

FloatArray& FloatArray::operator=(const FloatArray &r){
   if(this != &r){
        size=r.size;
        delete [] data;
        data = new float[size];
        for(int i=0;i<size;i++)
              data[i]=r.data[i];
   }
   cout<<"operator=(const FloatArray &r)"<<endl;
   return *this;
}
```

Il costruttore per copia acquisisce le risorse e inizializza

L'operatore di assegnamento prima libera e poi acquisisce risorse e inizializza

Esempio: *FloatArray.cpp*

```
int FloatArray::Length()const{
   return size;
}


float& FloatArray::operator[](int index){
   assert(index>=0 && index<size);
   return data[index];
}


float& FloatArray::operator()(int index){
   assert(index>=0 && index<size);
   return data[index];
}
```

Esempio: `operator[]`

- In generale, per le classi che rappresentano l'*astrazione di un contenitore,* in cui si possono leggere i singoli elementi, si può definire un operatore di *subscript*: `operator[]`. Con riferimento alla classe `FloatArray` i metodi `Get()` e `Set()` possono essere sostituiti con `operator[]`.
- Tale operatore deve poter comparire sia sul *lato sinistro* sia su quello *destro* di un operatore di assegnamento.

Esempio: `operator[]`

- Quindi il suo valore di ritorno deve essere un *lvalue*. Ciò si ottiene specificando il tipo di ritorno come un *riferimento*.
- L'uso del *reference* permette di utilizzare l'operatore di *subscript* in un modo *intuitivo*, come per i tipi predefiniti:

```
int a[3]; ...; a[1]=23;
```

- La stessa funzionalità si può implementare con l'overloading dell'operatore di chiamata a funzione, `operator()`.

Esempio: *FloatArray.cpp*

```
const FloatArray FloatArray::operator+(const FloatArray &r)
   const{
   assert(size==r.size);
   FloatArray tmp(size);
   for(int i=0;i<size ;i++)
        tmp.data[i]=data[i] + r.data[i];
   return tmp;
}
```

Operatore di somma tra due array

Operatore di somma tra un array e un valore float

```
const FloatArray FloatArray::operator+(float x) const{
   FloatArray tmp(size);
   for(int i=0;i<size ;i++)
        tmp.data[i]=data[i] + x;
   return tmp;
}
```


Esempio: *FloatArray.cpp*

```
ostream& operator<<(ostream &os, const FloatArray &r) {
   for(int i=0;i<r.size ;i++)
        os<<r.data[i]<<" ";
   os<<endl;
   return os;
}
```

Operatore di stampa per un oggetto della classe: è una funzione friend, non un metodo della classe

Esempio: *test.cpp*

```
#include "FloatArray.h"
#include <iostream>
using namespace std;

void test1();

int main(){
   test1();
   return 0;
}

void test1(){
   FloatArray a, b(5,3);
   cout<<a<<b;
}
```

Una possibile uscita

```
FloatArray(8,0)
FloatArray(5,3)
0 0 0 0 0 0 0 0
3 3 3 3 3
~FloatArray()
~FloatArray()
```

Gli oggetti sono locali, ma i dati sono allocati dinamicamente.

Operatore di stampa per gli oggetti.

Esempio: *test.cpp*

```
void test2(){
   FloatArray a(10,2), b(10);
   for(int i=0;i<b.Length();i++)
      b(i)=i;
   cout<<a+b;
}
```

Oggetto funzione

Costruttore di `tmp`

Costruttore per copia dovuto al `return tmp;`

Una possibile uscita

```
FloatArray(10,2)
FloatArray(10,0)
FloatArray(10,0)
FloatArray(const FloatArray& o)
~FloatArray()
2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
~FloatArray()
~FloatArray()
~FloatArray()
```


Esempio: *test.cpp*

```
void test3(){
   FloatArray a(10,2), b;

   for(int i=0;i<a.Length();i++)
       a[i]=i;

   b=a+3.3;
   cout<<b;
}
```

`operator[]`

Somma tra oggetto e float

Assegnamento tra oggetti

Una possibile uscita

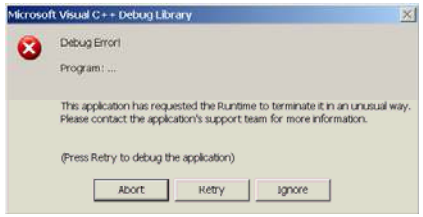
```
FloatArray(10,2)
FloatArray(8,0)
FloatArray(10,0)
FloatArray(const FloatArray& o)
~FloatArray()
operator=(const FloatArray &r)
~FloatArray()
3.3 4.3 5.3 6.3 7.3 8.3 9.3 10.3 11.3 12.3
~FloatArray()
~FloatArray()
```


Esempio: *test.cpp*

```
void test4(){
   FloatArray a(8,2);
   a(20)=3;
}
```

Una possibile uscita

```
FloatArray(8,2)
Assertion failed: index>=0 && index<size, file g:\users\fabio\insegnamenti\infor
matica_medica\esempi\lezione10\floatarray.cpp, line 44
```



Esempio: *test.cpp*

```
void test5(){
   FloatArray a(5,2), b(5,7);

   a=b;
   b(0)=0;
   cout<<a<<b;
}
```

Se si assegna `b` ad `a`, una modifica su `b` non influenza `a`.

Una possibile uscita

```
FloatArray(5,2)
FloatArray(5,7)
operator=(const FloatArray &r)
7 7 7 7 7
0 7 7 7 7
~FloatArray()
~FloatArray()
```