Programmare in C++

A.S. 2015/2016

Alessandro Saltini

Liceo Scientifico Statale "A. Tassoni"

L'informatica

- L'informatica non è
  - saper usare un computer
  - saper costruire/riparare un computer
  - usare programmi scritti da altri
- L'informatica è
  - una branca della matematica
  - lo studio dell'informazione
  - lo studio degli algoritmi
  - lo studio dei linguaggi di programmazione

L'informazione

- L'informazione si misura in bit (binary digit)
- 1 bit è la quantità di informazione necessaria a determinare una quantità che può essere 0 o 1
- Il byte è un multiplo del bit: $1\,\mathrm{B} = 8\,\mathrm{bit}$
- Due scale di multipli del byte:
  - decimale: kB (10^3), MB (10^6), GB (10^9), TB (10^{12}), …
  - binaria: KiB (2^{10}), MiB (2^{20}), GiB (2^{30}), TiB (2^{40}), …

Algebra Booleana

- L'algebra Booleana è l'algebra dei bit
- È un modello della logica classica: 1 = vero, 0 = falso
- Insieme di base $\mathcal{B} = \{ 0, 1 \}$
- Tre operazioni fondamentali:
  - not (non): $\neg : \mathcal{B} \to \mathcal{B}$
  - and (et): $\wedge : \mathcal{B}^2 \to \mathcal{B}$
  - or (vel): $\vee : \mathcal{B}^2 \to \mathcal{B}$

Algebra Booleana

- not (non): $\neg$
  - $\neg 1 = 0$
  - $\neg 0 = 1$
- and (et): $\wedge$
  - $1 \wedge 1 = 1$
  - $1 \wedge 0 = 0$
  - $0 \wedge 1 = 0$
  - $0 \wedge 0 = 0$
- or (vel): $\vee$
  - $1 \vee 1 = 1$
  - $1 \vee 0 = 1$
  - $0 \vee 1 = 1$
  - $0 \vee 0 = 0$

Algebra Booleana

- Combinando queste tre operazioni si possono ottenere tutte le altre operazioni possibili
- In realtà basta una sola operazione, meno intuitiva:
  - nand (↑)
  - nor (↓)
- Esistono circuiti elettrici che realizzano materialmente queste operazioni logiche
  - segnale "alto" = 1
  - segnale "basso" = 0
- Sono l'elemento di base dei computer

Rappresentazione decimale

- Un numero in rappresentazione decimale è espresso come combinazione di potenze di 10

$$1064 = 1 \cdot 10^3 + 0 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 4 \cdot 10^0$$

- I coefficienti sono compresi tra 0 e 9 (minori di 10)
- Il massimo numero con n cifre decimali è $10^n - 1$
- I numeri esistono indipendentemente dalla loro rappresentazione, è solo un modo di scriverli

Rappresentazione binaria

- La rappresentazione binaria utilizza le potenze di 2

$$10110 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$$

- I coefficienti sono soltanto 0 e 1 (minori di 2)
- Il massimo numero con n cifre binarie è $2^n - 1$
- Ogni cifra è rappresentabile da un bit
  - n cifre $\Rightarrow$ n bit

Rappresentazione binaria

- I computer memorizzano i numeri in binario
- Le operazioni tra essi vengono svolte da appositi circuiti, basati sulle operazioni Booleane
- Ogni operazione richiede un certo tempo
- Limiti di memoria/tempo impediscono di operare con numeri arbitrariamente grandi

Rappresentazione binaria

- I numeri negativi devono memorizzare anche il segno
- Costo di $1\,\text{bit}$ aggiuntivo
  - $s = 0 \Rightarrow +$
  - $s = 1 \Rightarrow -$
- Spesso si ricorre a rappresentazioni alternative
  - rimozione di ambiguità tra $+0$ e -0
  - facilità di calcolo
  - occupano comunque $1\,\text{bit}$ in più

Rappresentazione binaria

- La parte frazionaria è problematica da rappresentare

$$1.1011 = 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} + 1 \cdot 2^{-4}$$

- Non tutti i numeri con rappresentazione decimale finità hanno rappresentazione binaria finita

- Non possiamo memorizzare infinite cifre
  - Impossibile rappresentare i numeri irrazionali
  - Non tutti i numeri razionali sono rappresentabili

Rappresentazione binaria

- Richiamiamo la notazione scientifica

$$1064.15 = 1.064\,15 \cdot 10^3$$

- Generalizzabile in binario come

$$110.1011 = 1.101011 \cdot 2^2$$

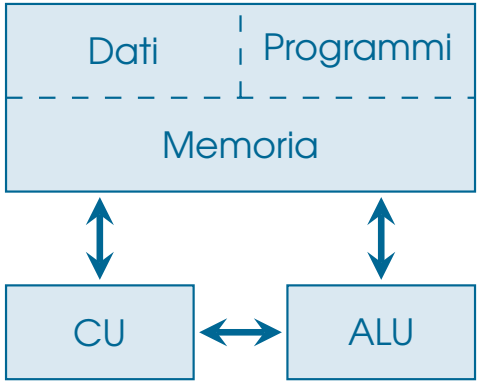
- La prima cifra della rappresentazione scientifica binaria è sempre 1, non serve memorizzarla

Rappresentazione binaria

$$110.1011 = 1.101011 \cdot 2^2$$

- La parte dopo la virgola è detta mantissa o significando, è un numero intero
- L'esponente di 2 è un numero intero
- Un numero frazionario viene rappresentato come coppia di numeri interi
  - bit del significando ⇒ precisione
  - bit dell'esponente ⇒ range

Architettura di von Neumann



- Memoria unica per dati e programmi
- CU (Control Unit): assegna e gestisce risorse
- ALU (Arithmetic Logic Unit): compie operazioni
- ALU + CU = CPU (Central Processing Unit)

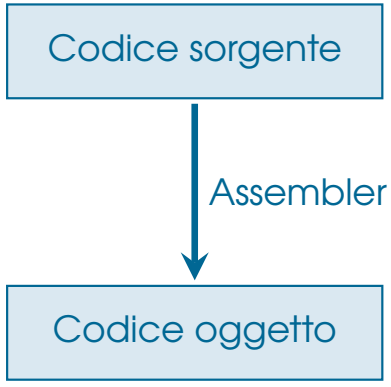
CPU

- La CPU esegue istruzioni semplici
- Istruzione tipo:
  - che operazione fare
  - indirizzi di memoria degli operandi
  - indirizzi di memoria dei risultati
- Le istruzioni sono codificate come numeri binari
- Le istruzioni eseguibili dipendono dal tipo di CPU

Assembly

- I linguaggi assembly hanno una corrispondenza 1-ad-1 con le istruzioni della macchina
- Le istruzioni vengono "tradotte" da numeri binari a parole comprensibili ad un essere umano
- Un programma in assembly è una lista di istruzioni che la CPU eseguirà nell'ordine in cui appaiono
- CPU diverse hanno linguaggi assembly diversi

Assembly

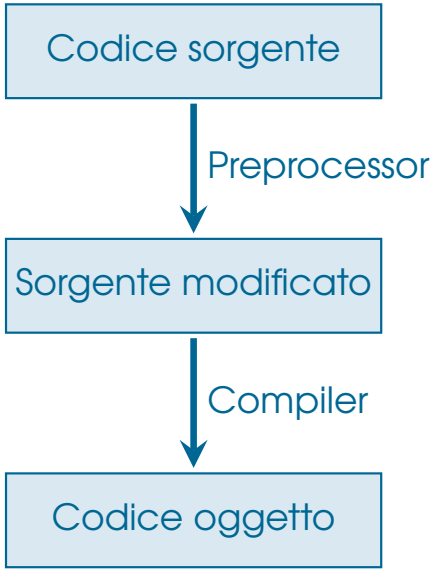


- Il codice sorgente è un file contenente testo
- Il codice oggetto è un file contenente istruzioni binarie
- Un programma detto assembler converte il codice sorgente in codice oggetto, eseguibile dalla CPU

Linguaggi di programmazione

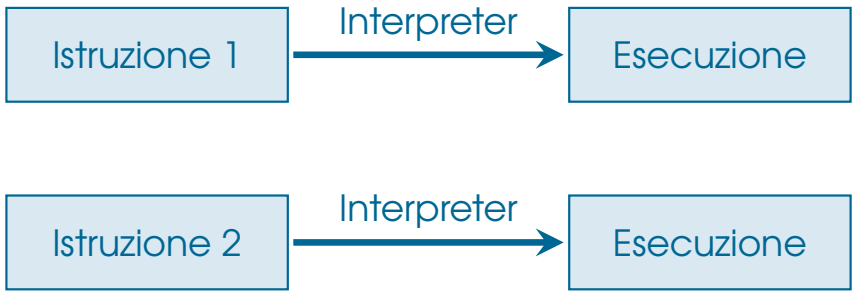
- Un linguaggio di programmazione è un linguaggio formale con il quale scrivere istruzioni
  - distinzione tra istruzioni valide/invalide
  - le istruzioni controllano la CPU
- Distinzione di livello
  - basso livello: 1-ad-1 con istruzioni della CPU
  - alto livello: linguaggi astratti
- Un paradigma di programmazione è uno stile secondo il quale viene scritto il codice sorgente
- Ciascun linguaggio accetta uno o più paradigmi

Linguaggi compilati



- Il codice sorgente viene scritto per intero
- Il preprocessor modifica al sorgente (facoltativo)
- Il compiler crea un file oggetto dal sorgente

Linguaggi interpretati



- Ciascuna istruzione viene compilata singolarmente
- Esecuzione di programm incompleti
- Molto più lenti dei linguaggi compilati

Paradigmi

- Programmazione imperativa
  - lista di comandi eseguiti in un certo ordine
- Programmazione dichiarativa
  - lista di relazioni tra enti
- Programmazione ad oggetti
  - lista di oggetti e di interazioni tra essi

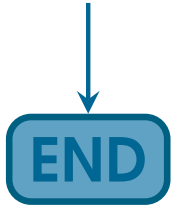
Programmazione imperativa

- Scrittura di un algoritmo per risolvere un problema
- Esempio: cambiare la batteria di un telecomando
  - aprire il vano batterie
  - rimuovere la vecchia batteria
  - gettare la vecchia batteria
  - inserire la nuova batteria
  - chiudere il vano batterie
- L'ordine delle istruzioni è determinante

Flowcharts

- Per rappresentare un algoritmo si utilizzano i flowcharts o diagrammi di flusso
- Un flowchart è costituito da
  - celle contenenti istruzioni
  - frecce che guidano il flusso di controllo
- I flowcharts sono un linguaggio di programmazione
- Creare flowcharts aiuta nella stesura di un algoritmo

Flowcharts

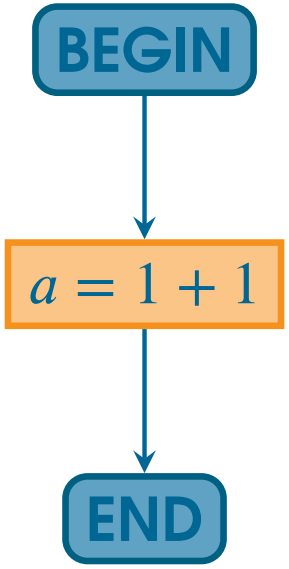


- Istruzioni di inizio e fine diagramma
- Uno ed un solo BEGIN per diagramma
- A volte ammessi più END in un singolo diagramma

Flowcharts

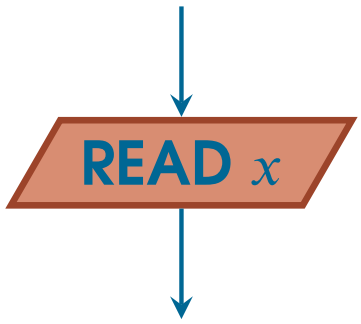
- Istruzione di processo
- Viene eseguita l'operazione indicata nella casella

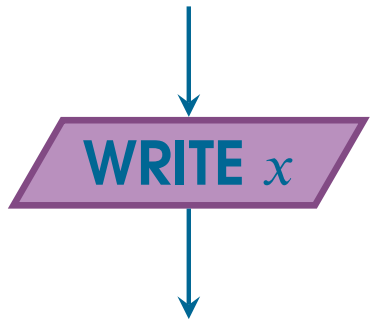
Flowcharts



- Il programma calcola 1+1
- Il risultato viene messo nella variabile a

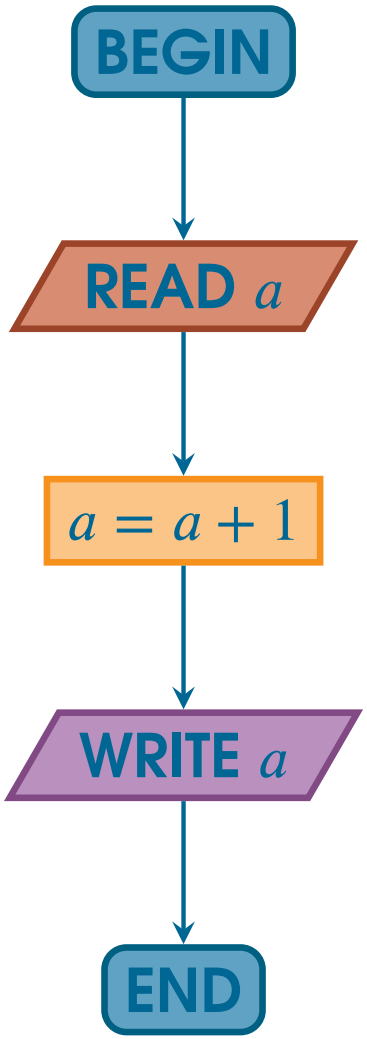
Flowcharts



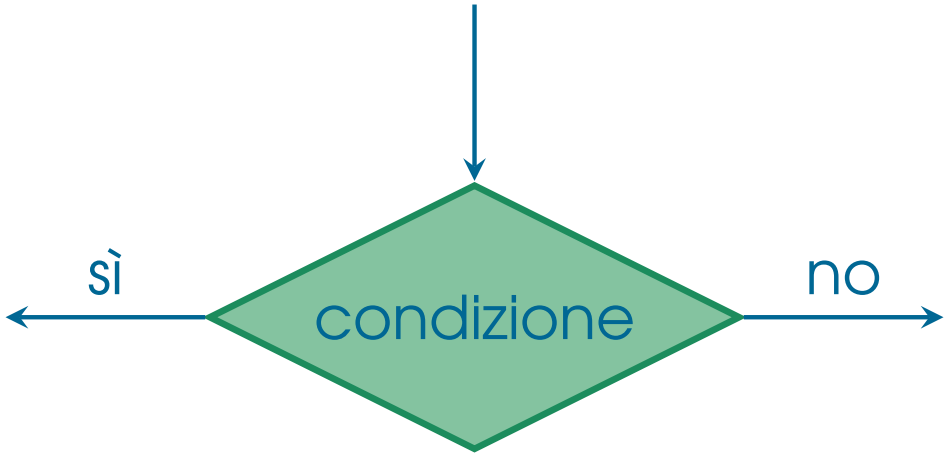


- Istruzioni di lettura/scrittura
- Lettura: un valore inserito dall'utente viene memorizzato nella variabile x
- Scrittura: il valore corrente della variabile x viene comunicato all'utente

Flowcharts

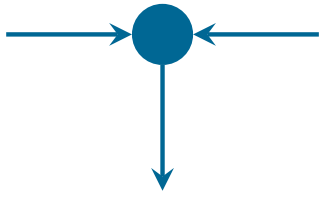


Flowcharts



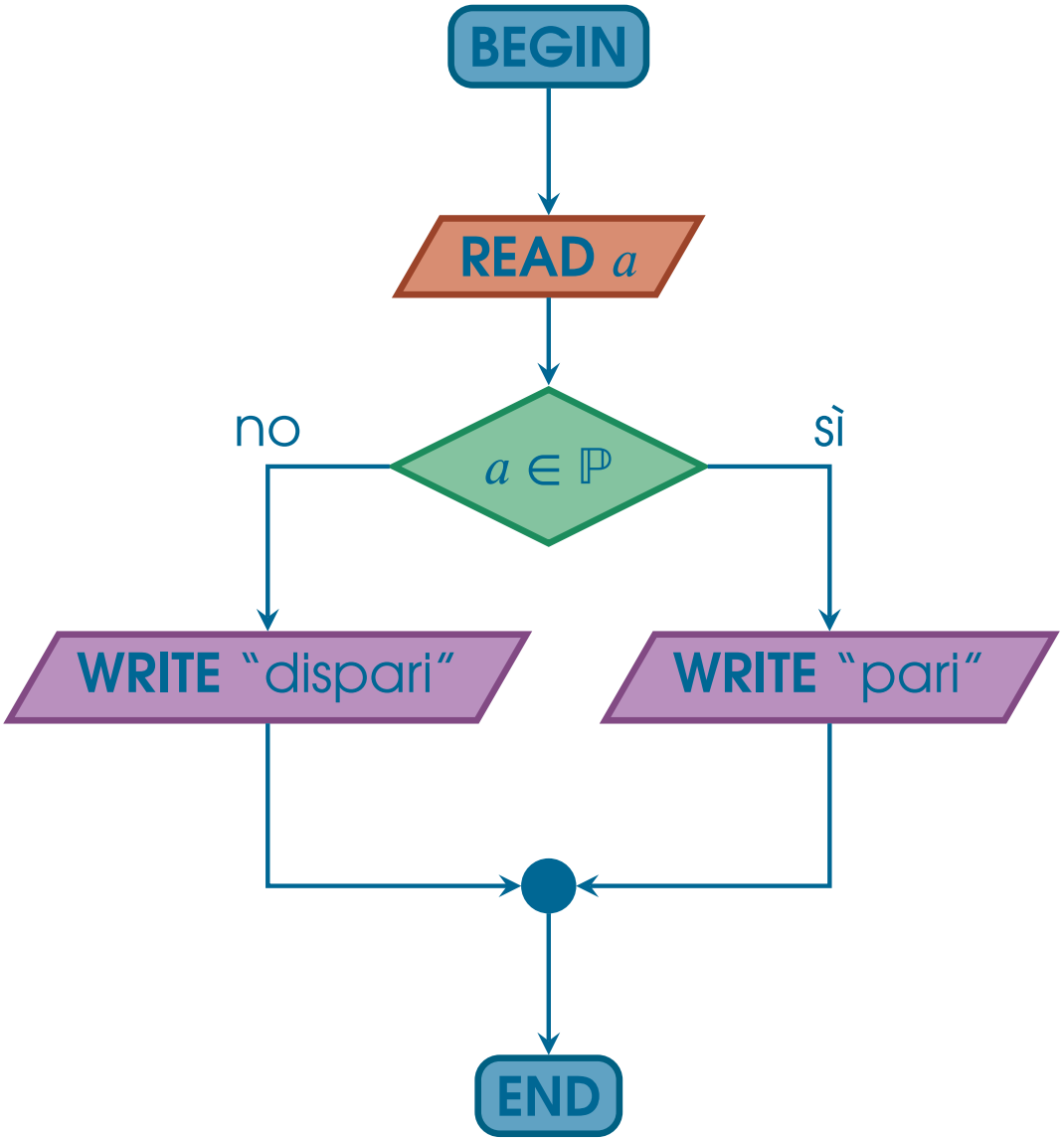
- Istruzione condizionale
- Il flusso del grafico cambia direzione a seconda che la condizione sia vera oppure falsa

Flowcharts



- Connettore
- Permette di rincongiungere due rami separati

Flowcharts



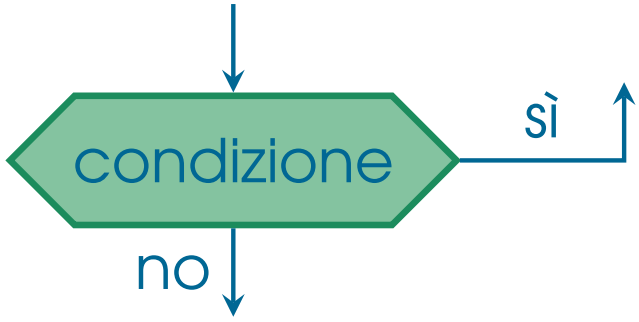
Flowcharts

- Le regole elencate danno origine alla programmazione imperativa in senso lato
- Le frecce possono "risalire" il diagramma
  - istruzioni goto: ritorno ad un punto precedente
- Questo rende più difficile:
  - studio formale del programma
  - apportare modifiche al codice
  - comprensione del programma da parte di terzi

Flowcharts

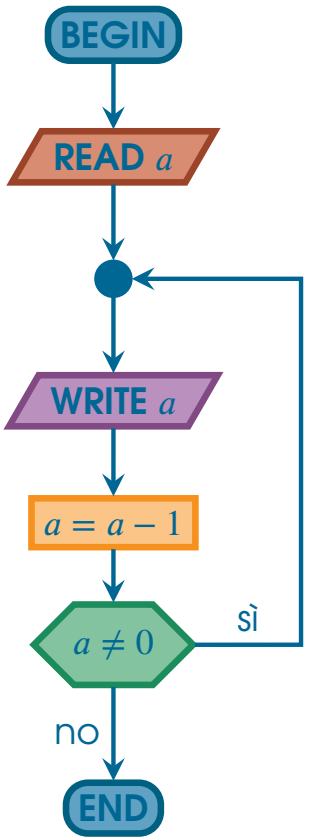
- La programmazione strutturata vieta i goto
- Le frecce non possono risalire il diagramma
- Viene aggiunto un nuovo simbolo
- Teorema di Böhm-Jacopini
  - equivalenza tra imperativa e strutturata

Flowcharts

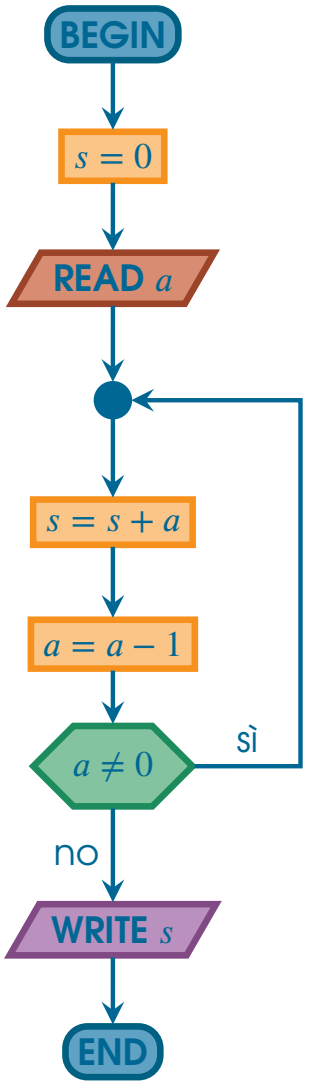


- Istruzione di loop
- Concettualmente identica all'istruzione condizionale, ma uno (ed uno solo) dei due flussi può risalire
- Permette di ripetere una serie di istruzioni

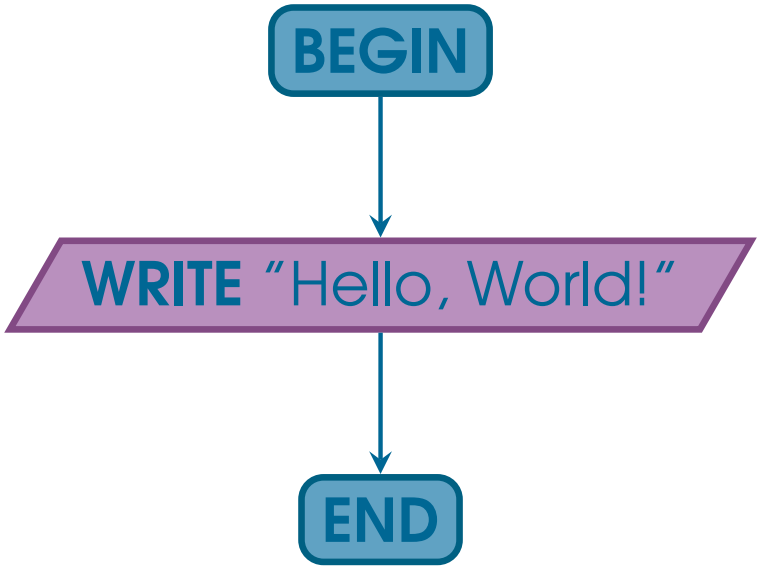
Flowcharts



Flowcharts



Hello, World!




```
1 #include <iostream>
2
3 int main() {
4   std::cout << "Hello, World!" << std::endl;
5   return 0;
6 }
7
```

Hello, World!

- Il codice sorgente viene scritto in un file di testo
  - estensioni standard `*.cpp` o `*.cc` o `*.C`
- La compilazione può avvenire in due modi
  - tramite IDE (ambiente di sviluppo)
  - `g++ -std=c++14 source.cpp -o target`
- Per progetti più ampi conviene creare un Makefile

Hello, World!

```
1 #include <iostream>
2
3 int main() {
4   std::cout << "Hello, World!" << std::endl;
5   return 0;
6 }
7
```

- `#` introduce direttive del preprocessore
- `int main()` è la parte principale del programma
- `{ ... }` raggruppa più istruzioni in un singolo blocco
- ogni istruzione termina con un `;`
- ogni programma deve terminare con `return 0;`
- l'ultima riga di un file deve sempre essere vuota

Hello, World!

```
1 #include <iostream>
2
3 int main() {
4   std::cout << "Hello, World!" << std::endl;
5   return 0;
6 }
7
```

- `#include <...>` inserisce un header nel programma
  - funzioni di libreria (C++ Standard Library)
  - tutte nel namespace `std`
- `<iostream>` contiene:
  - `std::cout` necessaria per scrivere a schermo
  - `std::endl` inserisce un'interruzione di riga

Hello, World!

```
1 #include <iostream>
2
3 int main() {
4   std::cout << "Hello, World!" << std::endl;
5   return 0;
6 }
7
```

- C++ gestisce l'output tramite stream (flussi)
  - `std::cout` è il flusso di output standard
  - `<<` è l'operatore di inserimento
  - `std::endl` è un manipolatore
- `"Hello, World!"` è una stringa
  - delimitate da virgolette

Hello, World!

```
1 //Questo è il mio primo programma in C++
2 #include <iostream>
3
4 int main() {
5   std::cout << "Hello, World!" << std::endl;
6   return 0;
7 }
8
```

- le righe introdotte da `//` sono commenti
- commentare è una buona abitudine
  - aiuta a ricordare cosa fa il programma
  - aiuta altri a capire cosa fa il programma
- altro modo di creare commenti: `/* ... */`

Hello, World!

```
1 //Questo è il mio primo programma in C++
2 #include <iostream>
3 using namespace std;
4 int main() {
5   cout << "Hello, World!" << endl;
6   return 0;
7 }
8
```

- Importa tutte le funzioni del namespace std
- Comodo per non scrivere `std::` ogni volta
- Cattiva abitudine, molto rischioso

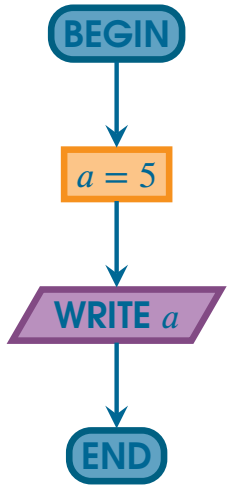
Hello, World!

```
1 //Questo è il mio primo programma in C++
2 #include <iostream>
3 using std::cout;
4 using std::endl;
5 int main() {
6   cout << "Hello, World!" << endl;
7   return 0;
8 }
9
```

- Importa soltanto le funzioni che richiediamo
- Più sicuro che importare l'intero namespace

Variabili

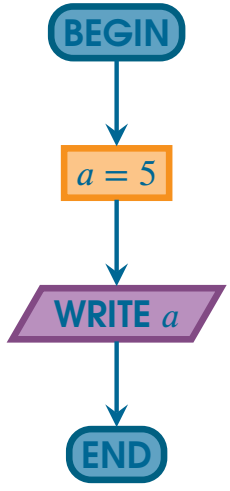
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    a = 5;
7    cout << a << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- `int a;` dichiara la variabile `a` di tipo `int`
- `a = 5;` assegna il valore `5` alla variabile `a`
  - la prima assegnazione è detta inizializzazione
  - mai utilizzare una variabile non inizializzata

Variabili

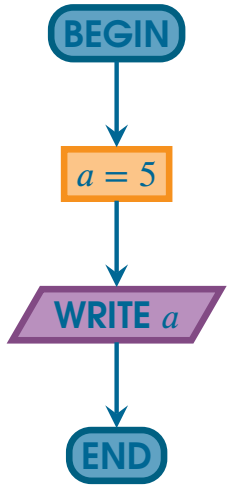
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int a;
5  int main() {
6    a = 5;
7    cout << a << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- Dichiarazione all'esterno di `main()`
- Variabile globale
- Ammesso, ma fortemente sconsigliato

Variabili

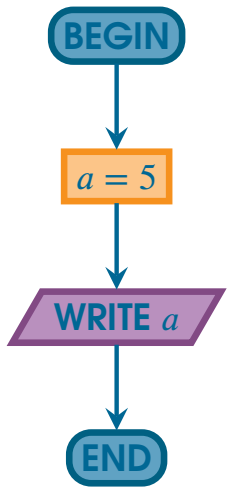
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5;
6    cout << a << endl;
7    return 0;
8  }
9
```



- Inizializzazione in sede di dichiarazione
- Buona abitudine

Variabili

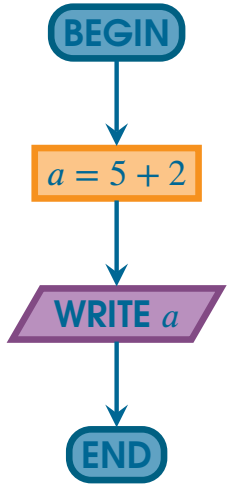
```
1 #include <iostream>
2 using std::cout;
3 using std::endl;
4 int main() {
5   int a(5);
6   cout << a << endl;
7   return 0;
8 }
9
```



- Sintassi alternativa: costruttore

Variabili

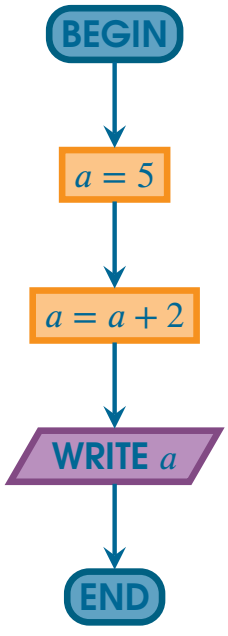
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    a = 5 + 2;
7    cout << a << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- È possibile compiere operazioni

Variabili

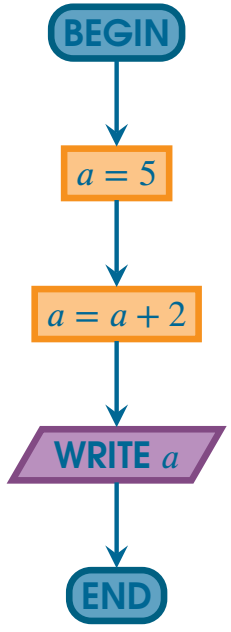
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5;
6    a = a + 2;
7    cout << a << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- Utilizzo del valore di una variabile in un'operazione:
  - leggo il valore di `a`
  - sommo `2` al valore letto
  - metto il risultato in `a`

Variabili

```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5;
6    a += 2;
7    cout << a << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- Forma più compatta della scrittura precedente

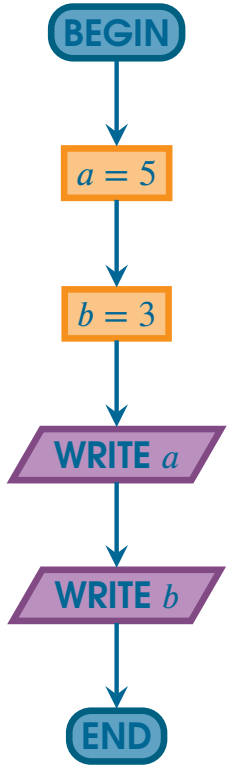
Variabili

- Operazioni:

`+`	somma	`5 + 3 = 8`
`-`	sottrazione	`5 - 3 = 2`
`*`	moltiplicazione	`5 * 3 = 15`
`/`	divisione	`5 / 3 = 1`
`%`	resto	`5 % 3 = 2`

Variabili

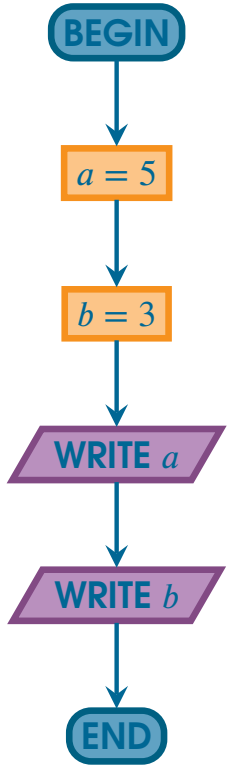
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    int b;
7    a = 5;
8    b = 3;
9    cout << a << endl;
10   cout << b << endl;
11   return 0;
12 }
13
```



- Posso dichiarare più variabili

Variabili

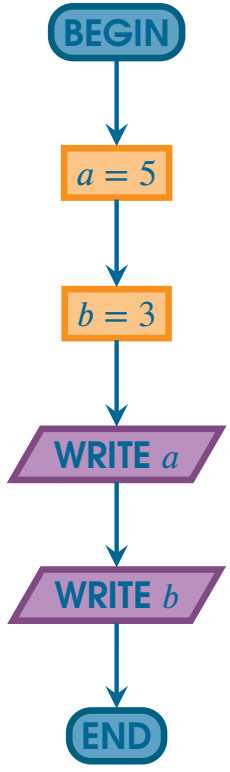
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a, b;
6    a = 5;
7    b = 3;
8    cout << a << endl;
9    cout << b << endl;
10   return 0;
11 }
12
```



- Variabili dello stesso tipo possono essere dichiarate in un'unica istruzione, separate da virgole

Variabili

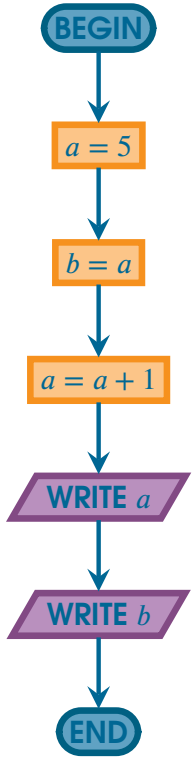
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5, b = 3;
6    cout << a << endl;
7    cout << b << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- Inizializzazione in sede di dichiarazione

Variabili

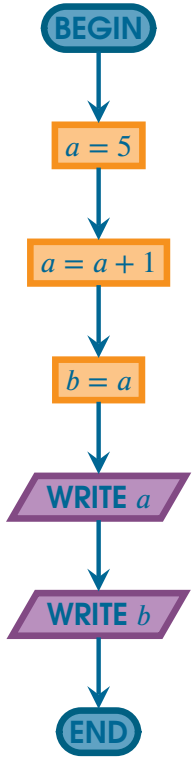
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5, b;
6    b = a++;
7    cout << a << endl;
8    cout << b << endl;
9    return 0;
10 }
11
```



- `a++` operatore di post-incremento
- `a--` operatore di post-decremento

Variabili

```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5, b;
6    b = ++a;
7    cout << a << endl;
8    cout << b << endl;
9    return 0;
10 }
11
```



- `++a` operatore di pre-incremento
- `--a` operatore di pre-decremento

Variabili

- Tipi di variabile:
  - numeri interi
    - `short`
    - `int`
    - `long`
    - `long long`
  - numeri razionali
    - `float`
    - `double`
    - `long double`
  - booleano (0/1)
    - `bool`
  - carattere
    - `char`

Variabili

```
1  #include <iostream>
2  #include <limits>
3  using std::cout;
4  using std::endl;
5  int main() {
6    cout << std::numeric_limits<int>::max() << endl;
7    cout << std::numeric_limits<int>::min() << endl;
8    return 0;
9  }
10
```

- La dimensione dei tipi non è standard
- Ogni compilatore può avere dimensioni diverse
- È bene verificare i limiti del proprio compilatore

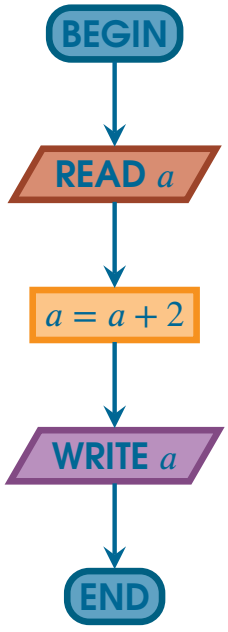
Variabili

```
1 int main() {
2   const int a = 5;
3   a = 4;
4   return 0;
5 }
6
```

- La parola **`const`** impedisce di cambiare una variabile
- Il valore deve essere impostato nella dichiarazione
- Utile per evitare di cambiare accidentalmente quantità che devono restare fisse

Input/Output

```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    std::cin >> a;
7    a += 2;
8    cout << a << endl;
9    return 0;
10 }
11
```



- `std::cin` è il flusso di input standard
- `>>` è l'operatore di estrazione

Input/Output

```
1 #include <iostream>
2 int main() {
3   std::cerr << "Errore!" << std::endl;
4   return 1;
5 }
6
```

- `std::cerr` è il flusso su cui comunicare gli errori
- Viene gestito diversamente dal sistema operativo

Input/Output

```
1 #include <fstream>
2 int main() {
3   std::ofstream fout;
4   fout.open("prova.txt");
5   fout << "Hello, World!" << std::endl;
6   fout.close();
7   return 0;
8 }
9
```

- `<fstream>` permette di fare input/output su file
- `std::ofstream` è un tipo di variabile
  - `fout` è il nome della variabile

Input/Output

```
1  #include <fstream>
2  int main() {
3    std::ofstream fout;
4    fout.open("prova.txt");
5    fout << "Hello, World!" << std::endl;
6    fout.close();
7    return 0;
8  }
9
```

- `fout.open("prova.txt")` apre il file `prova.txt`
- La scrittura avviene come per `cout`
- `fout.close()` chiude il file

Input/Output

```
1 #include <fstream>
2 int main() {
3   std::ofstream fout("prova.txt");
4   fout << "Hello, World!" << std::endl;
5   fout.close();
6   return 0;
7 }
8
```

- L'apertura del file può essere fatta nella dichiarazione

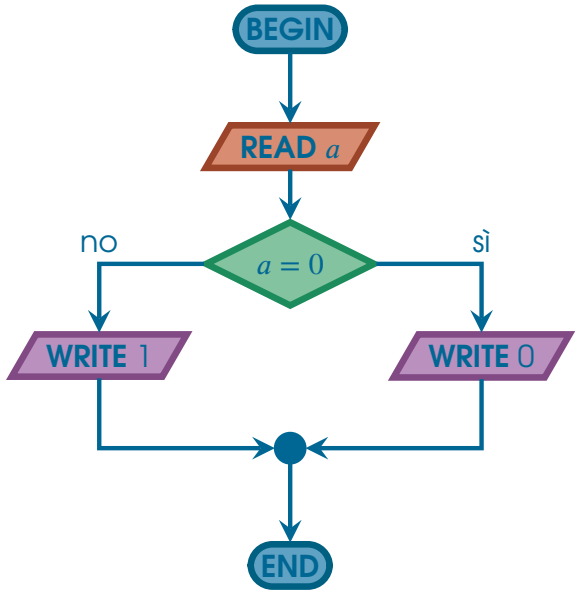
Input/Output

```
1  #include <iostream>
2  #include <fstream>
3  int main() {
4    int a;
5    std::ifstream fin("dati.txt");
6    fin >> a;
7    fin.close();
8    std::cout << a << std::endl;
9    return 0;
10 }
11
```

- `std::ifstream` per i file di input
- L'operatore `>>` estrae il primo dato nel file

Condizionale

```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    std::cin >> a;
7    if(a == 0) {
8      cout << 0 << endl;
9    } else {
10     cout << 1 << endl;
11   }
12   return 0;
13 }
14
```



Condizionale

- `if(condizione) { ... } else { ... }`
  - il primo blocco viene eseguito se la condizione è vera
  - il secondo blocco viene eseguito se è falsa
- La condizione deve avere un valore di tipo `bool`
  - spesso risulta da operatori di confronto
  - può contenere espressioni composte
- La direttiva `else` può essere omessa

Condizionale

- Operatori di confronto:

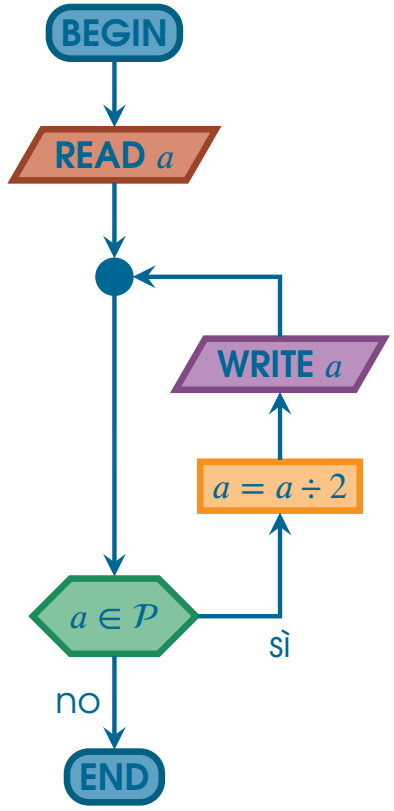
`==`	uguale
`!=`	diverso
`>`	maggiore
`>=`	maggiore o uguale
`<`	minore
`<=`	minore o uguale

- Operatori logici:

`!`	not
`&&`	and
`||`	or

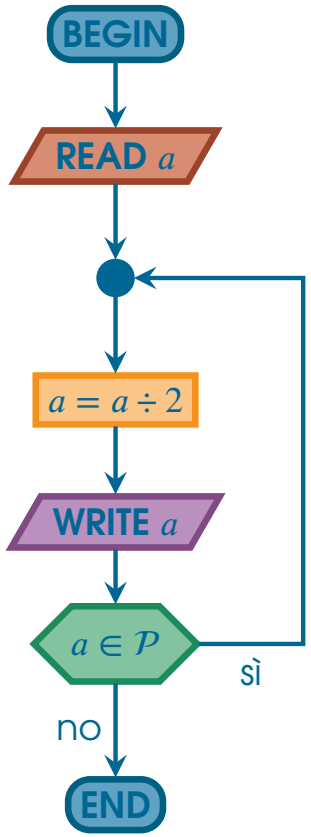
Ciclo while

```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    std::cin >> a;
7    while(a % 2 == 0){
8      a /= 2;
9      cout << a << endl;
10   }
11   return 0;
12 }
13
```



Ciclo while

```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    std::cin >> a;
7    do {
8      a /= 2;
9      cout << a << endl;
10   } while(a % 2 == 0);
11   return 0;
12 }
13
```

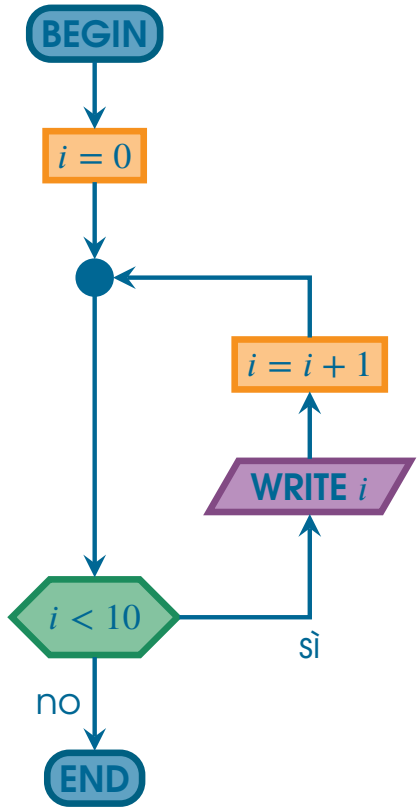


Ciclo while

- `while(condizione) { ... }`
  - ripete il blocco finché la condizione è vera
  - se la condizione è inizialmente falsa, non entra
- `do { ... } while(condizione);`
  - ripete il blocco finché la condizione è vera
  - il blocco viene eseguito almeno una volta
- L'iterazione è alla base della programmazione
  - sfruttare il computer per fare operazioni ripetitive

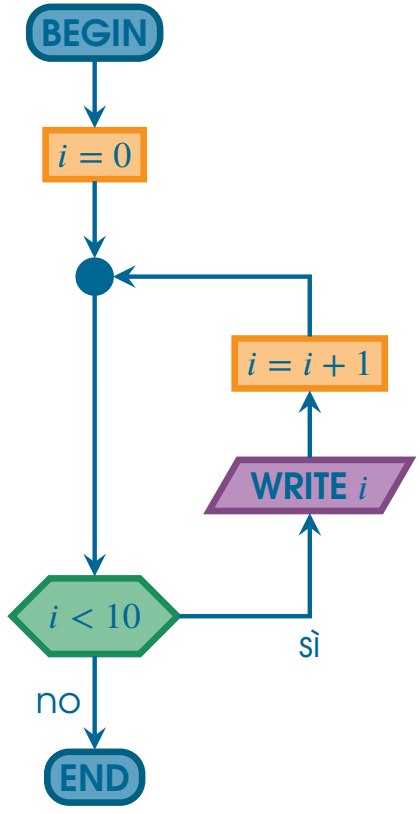
Ciclo for

```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int i = 0;
6    while(i < 10){
7      cout << i << endl;
8      i++;
9    }
10   return 0;
11 }
12
```



Ciclo for

```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    for(int i = 0; i < 10; i++){
6      cout << i << endl;
7    }
8    return 0;
9  }
10
```



Ciclo while

- `for(iniziale;condizione;incremento) { ... }`
  - esegue il comando iniziale
  - ripete il blocco finché la condizione è vera
  - al termine di ogni iterazione esegue l'incremento

- Utile nel caso sia noto a priori il numero di ripetizioni che un ciclo deve compiere

Ciclo for

```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    for(int i = 0; i < 10; i++){
6      i *= 2;
7      cout << i << endl;
8    }
9    return 0;
10 }
11
```

- Cattiva abitudine: cambiare l'indice dentro al ciclo
- Cambiare la struttura del ciclo o usare un while

Signed/Unsigned

```
1 #include <iostream>
2 int main(){
3   signed int a = -50;
4   unsigned int b = -50;
5   std::cout << a << std::endl;
6   std::cout << b << std::endl;
7   return 0;
8 }
9
```

- **unsigned** è un tipo di intero senza segno
  - range doppio, bit del segno usato per le cifre
  - comportamento inatteso con numeri negativi
- **signed** è generalmente sottointeso

Typedef

```
1 #include <iostream>
2 typedef unsigned int uint;
3 int main(){
4   uint a = 6;
5   std::cout << a << std::endl;
6   return 0;
7 }
8
```

- **`typedef`** definisce un nuovo tipo
  - abbrevia la scrittura
  - modifica flessibile su programmi lunghi
- Alcuni compilatori definiscono già `uint`, ma è consigliabile ridefinirlo con un typedef per portabilità

Casting

```
1 #include <iostream>
2 int main(){
3   char a = 'A';
4   std::cout << a << std::endl;
5   std::cout << static_cast<int>(a) << std::endl;
6   return 0;
7 }
8
```

- Conversione di dati da un tipo ad un altro
  - **`static_cast`**: più sicuro, più veloce
  - esistono altre funzioni di cast

Casting

```
1 #include <iostream>
2 int main(){
3   char a = 'A';
4   std::cout << a << std::endl;
5   std::cout << (int) a << std::endl;
6   return 0;
7 }
8
```

- Legacy C-style cast: `(int) a`
  - sconsigliato, comportamento inaffidabile

Funzioni

- Matematica: $f : A \to B$
  - A dominio
  - B codominio
  - associa ciascun elemento di A ad un elemento di B
- Funzioni a più input: $f : A_1 \times A_2 \to B$
  - coppia di valori da A_1 e A_2 come input
  - più in generale, n-ple di valori
- Informatica: tipi prendono il posto degli insiemi

Funzioni

- Funzioni pure
  - non modificano i valori di input
  - il valore di output dipende solo dai valori di input
  - non producono lettura/scrittura a schermo
- Funzioni impure
  - possono modificare gli input
  - possono utilizzare valori casuali, date, ore
  - possono leggere o scrivere a schermo
- La sintassi del C++ non le distingue

Funzioni

```
1  #include <iostream>
2  int twice(int x) {
3    return 2*x;
4  }
5  int main() {
6    int a = 3;
7    std::cout << twice(a) << std::endl;
8    std::cout << a << std::endl;
9    return 0;
10 }
11
```

- `twice` : **int** $\rightarrow$ **int** :: $x \mapsto 2x$
- `main` : **void** $\rightarrow$ **int**

Funzioni

```
2 int twice(int x) {
3   return 2*x;
4 }
```

- Definizione della funzione
  - il primo `int` è il tipo di output
  - segue il nome della funzione
  - l'`int` tra parentesi è il tipo di input
  - `x` indica il nome della variabile
  - il blocco `{ ... }` è l'implementazione

```
7   std::cout << twice(a) << std::endl;
```

- Chiamata alla funzione

Funzioni

```
1  #include <iostream>
2  int pow(int x, int y) {
3    int z = 1;
4    for(int i = 0; i < y; i++) z *= x;
5    return z;
6  }
7  int main() {
8    std::cout << pow(2,3) << std::endl;
9    return 0;
10 }
11
```

- `pow` : **int** $\times$ **int** $\rightarrow$ **int** :: $(x, y) \mapsto x^y$
- Funzione a due input

Funzioni

```
1 #include <iostream>
2 int two() { return 2; }
3 int main() {
4   std::cout << two() << std::endl;
5   return 0;
6 }
7
```

- `two` : **`void`** → **`int`** :: 2
- Funzione senza input
- Chiamata con `two()`

Funzioni

```
1  #include <iostream>
2  int twice(int);
3  int main() {
4    int a = 3;
5    std::cout << twice(a) << std::endl;
6    std::cout << a << std::endl;
7    return 0;
8  }
9  int twice(int x) { return 2*x; }
10
```

- `int twice(int);` è la dichiarazione o prototipo
- `int twice(int x) { return 2*x; }` è la definizione

Funzioni

- La dichiarazione dice che esiste una funzione
  - deve precedere il primo utilizzo della funzione
  - buona occasione per commentare
- La definizione implementa la funzione
  - senza di dichiarazione deve precedere il primo utilizzo
- Separarle è una buona abitudine

Funzioni

```
1  #include <iostream>
2  int fibonacci(int);
3  int main() {
4    std::cout << fibonacci(8) << std::endl;
5    return 0;
6  }
7  int fibonacci(int n) {
8    int f;
9    if (n == 0) f = 0;
10   else  if (n == 1) f = 1;
11         else f = fibonacci(n-1) + fibonacci(n-2);
12   return f;
13 }
14
```

- Funzione ricorsiva: chiama sé stessa

Funzioni

```
1  #include <iostream>
2  void hello(int);
3  int main() {
4    hello(5);
5    return 0;
6  }
7  void hello(int x) {
8    for(int i = 0; i < x; i++) {
9      std::cout << "Hello, World!" << std::endl;
10   }
11   return;
12 }
13
```

- Procedura: funzione senza tipo di output

Funzioni

- Passaggio di parametri by value
  - `int funzione(int)`
  - crea una copia degli argomenti della funzione
  - impossibile modificare gli argomenti
  - occupa più memoria, sconsigliato per molti dati
- Passaggio di parametri by reference
  - `int funzione(int&)`
  - la funzione ha accesso diretto agli argomenti
  - necessario per certe applicazioni

Funzioni

```
1  #include <iostream>
2  void swap(int,int)
3  int main() {
4    int a = 1, b = 0;
5    std::cout << a << " " << b << std::endl;
6    swap(a,b);
7    std::cout << a << " " << b << std::endl;
8    return 0;
9  }
10 void swap(int x, int y) {
11   int z = x;
12   x = y;
13   y = z;
14   return;
15 }
16
```

Funzioni

```
1  #include <iostream>
2  void swap(int&,int&)
3  int main() {
4    int a = 1, b = 0;
5    std::cout << a << " " << b << std::endl;
6    swap(a,b);
7    std::cout << a << " " << b << std::endl;
8    return 0;
9  }
10 void swap(int& x, int& y) {
11   int z = x;
12   x = y;
13   y = z;
14   return;
15 }
16
```

Un problema pratico

```
1  #include <iostream>
2  int main(){
3    signed char a = 26;
4    a += 5;
5    std::cout << static_cast<int>(a) << std::endl;
6    a -= 42;
7    std::cout << static_cast<int>(a) << std::endl;
8    return 0;
9  }
10
```

- **`signed/unsigned char`** come intero
  - minor utilizzo di memoria
  - maggior tempo di calcolo (su macchine moderne)
  - no input diretto (serve variabile di appoggio)

Operator overloading

```
1  #include <iostream>
2  typedef signed char schar;
3  std::istream& operator>>(std::istream&,schar&);
4  std::ostream& operator<<(std::ostream&,schar&);
5  int main(){
6    schar a;
7    std::cin >> a;
8    a += 5;
9    std::cout << a << std::endl;
10   return 0;
11 }
12 ...
```

- **typedef** per evitare conflitti
- ridefiniamo >> e << (overloading)

Operator overloading

```
11 ...
12 std::istream& operator>>(std::istream& input,schar& x) {
13   int y;
14   input >> y;
15   x = y;
16   return input;
17 }
18 std::ostream& operator<<(std::ostream& output,schar& x)
       {
19   output << static_cast<int>(x);
20   return output;
21 }
22
```

Strutture

```
1  #include <iostream>
2  struct frutto {
3    int m;     //massa
4    double p; //prezzo
5  };
6  int main(){
7    frutto mela;
8    mela.m = 250;
9    mela.p = 0.28;
10   std::cout << 1e3*mela.p/mela.m << std::endl;
11   return 0;
12 }
13
```

- **struct** crea un nuovo tipo che contiene più variabili

OOP – Object Oriented Programming

- In OOP si creano oggetti
  - variabili membro
  - funzioni membro
- Una classe definisce un tipo di oggetto
- L'oggetto vero e proprio è una variabile
  - istanza della classe

OOP – Object Oriented Programming

```
2  class Rett {
3    private:
4      int b, h;
5    public:
6      Rett();
7      Rett(int,int);
8      int area() const;
9      void draw() const;
10 };
11 ...
12
```

- **private** introduce membri inaccessibili dall'esterno
- **public** introduce membri accessibili dall'esterno
- Funzioni pubbliche possono alterare membri privati
- **int** area() **const**; non modifica l'oggetto

OOP – Object Oriented Programming

```
2  class Rett {
3    private:
4      int b, h;
5    public:
6      Rett();
7      Rett(int,int);
8      int area() const;
9      void draw() const;
10 };
11 ...
12
```

- Costruttori: `Rett()` e `Rett(int,int)`
  - vengono invocati quando si dichiara l'oggetto

OOP – Object Oriented Programming

```
16 ...
17 Rett::Rett() { return; }
18 Rett::Rett(int x, int y) {
19   this->b = x;
20   this->h = y;
21   return;
22 }
23 ...
```

- Implementazione dei costruttori
  - all'esterno dell'oggetto
  - preceduti dal nome dell'oggetto
- `this->` indica che `b` e `h` sono membri
  - si può omettere
  - rischio di conflitto con variabili/funzioni globali

```
22 ...
23 int Rett::area() const{
24   return this->b*this->h;
25 }
26 void Rett::draw() const{
27   for(int i = 0; i < this->h; i++) {
28     for(int j = 0; j < this->b; j++) {
29       std::cout << "*";
30     }
31     std::cout << std::endl;
32   }
33   return;
34 }
35
```

- Implementazione delle altre funzioni

```
10 ...
11 int main(){
12   Rett a(8,3);
13   a.draw();
14   std::cout << "Area = " << a.area() << std::endl;
15   return 0;
16 }
17 ...
```

- `Rett a(8,3);` chiama `Rett(int,int)`
- `Rett a;` chiama `Rett()`

```
10 ...
11 int main(){
12   Rett a(8,3);
13   a.draw();
14   std::cout << "Area = " << a.b*a.h << std::endl;
15   return 0;
16 }
17 ...
```

- Errore: `b` e `h` sono privati

```
2  ...
3  class Rett {
4  private:
5    int b, h;
6  public:
7    Rett();
8    Rett(int,int);
9    int area() const;
10   void draw() const;
11   bool operator==(const Rett&) const;
12 };
13 ...
```

- Overload di == per la classe Rett

OOP – Object Oriented Programming

```
37 ...
38 bool Rett::operator==(const Rett& a) const{
39   bool eq = 0;
40   if (this->b == a.b && this->h == a.h) eq = 1;
41   if (this->b == a.h && this->h == a.b) eq = 1;
42   return eq;
43 }
44 ...
```

- Implementazione, all'esterno della classe
- Buona abitudine: passare gli argomenti by reference

```
2  ...
3  class Rett {
4  private:
5     int b, h;
6  public:
7     Rett();
8     Rett(int,int);
9     int area() const;
10    void draw() const;
11    friend bool operator==(const Rett&,const Rett&);
12 };
13 ...
```

- Alternativa: overload come funzione libera
- **friend** permette all'operatore di accedere a **private**
  - non importa dove viene scritto

```
37 ...
38 bool operator==(const Rett& a, const Rett& b) {
39   bool eq = 0;
40   if (a.b == b.b && a.h == b.h) eq = 1;
41   if (a.b == b.h && a.h == b.b) eq = 1;
42   return eq;
43 }
44 ...
```

- L'operatore non è un membro della classe
  - per questo è necessario includerlo come **`friend`**
  - spesso è preferibile avere operatori membro

```
2  ...
3  class Rett {
4    private:
5      int b, h;
6    public:
7      Rett();
8      Rett(int,int);
9      int area() const;
10     void draw() const;
11     Rett& operator+=(const Rett&);
12     Rett operator+(const Rett&) const;
13     bool operator==(const Rett&);
14 };
15 ...
```

- Overload di + e +=
  - + ha come output un oggetto
  - += ha come output un riferimento all'oggetto

```
49 ...
50 Rett& Rett::operator+=(const Rett& a) {
51   this->b = this->b + a.b;
52   this->h = this->h + a.h;
53   return *this;
54 }
55 Rett Rett::operator+(const Rett& a) const {
56   int b = this->b + a.b;
57   int h = this->h + a.h;
58   return Rett(b,h);
59 }
60 ...
```

- Implementazione

```
54 ...
55 Rett operator+(const Rett& a, const Rett& b){
56   Rett x = a;
57   x += b;
58   return (x);
59 }
60 ...
```

- A volte conviene avere + come funzione libera
  - più flessibile con conversioni
- Definita in termini di +=, non ha bisogno di **friend**

Inheritance

```
2 class Figura {
3 protected:
4   int b, h;
5 public:
6   Figura();
7   void set_data(int,int);
8 };
9 ...
```

- Classe di base con certe caratteristiche
- **protected**, alternativa a **private**/**public**
  - membri **protected** sono inaccessibili dall'esterno
  - possono essere ereditati

Inheritance

```
13 ...
14 Figura::Figura() { return; }
15 void Figura::set_data(int b, int h) {
16   this->b = b;
17   this->h = h;
18   return;
19 }
20 ...
```

- Implementazione delle funzioni

Inheritance

```
8  ...
9  class Rett : public Figura {
10 public:
11   Rett();
12   int area() const;
13 };
14 ...
```

- Classe derivata
  - eredita tutti i membri **`public`** o **`protected`**
  - i membri **`private`** non vengono ereditati
- I costruttori devono essere ridefiniti
  - il nome del vecchio costruttore è diverso

Inheritance

```
19 ...
20 Rett::Rett() { return; }
21 int Rett::area() const{
22   return this->b*this->h;
23 }
24 ...
```

- Implementazione delle funzioni
- Non è necessario reimplementare `set_data`

Inheritance

```
23 ...
24 int main() {
25   Rett a;
26   a.set_data(3,5);
27   std::cout << "Area = " << a.area() << std::endl;
28   return 0;
29 }
30 ...
```

- Utilizzo nel programma

Inheritance

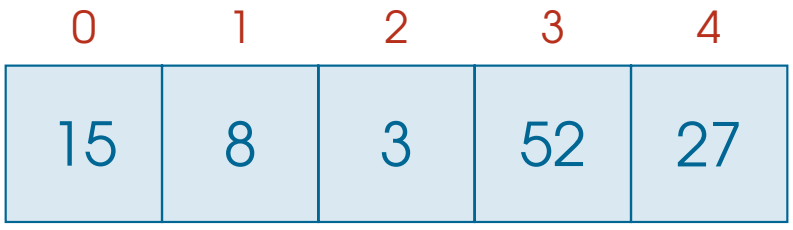
- Una classe può ereditare da più fonti
  - `class Derivata : public Fonte1, public Fonte2`
- L'eredità può modificare gli accessi
  - `class Derivata : public Fonte`
  - `class Derivata : protected Fonte`
  - `class Derivata : private Fonte`
- L'eredità è alla base di una buona OOP

Templates

```
1  #include <iostream>
2  template<class T> T max(const T,const T);
3  int main(){
4    std::cout << max<int>(4,5) << std::endl;
5    return 0;
6  }
7  template<class T> T max(const T a,const T b) {
8    T c;
9    if (a >= b) { c = a; }
10   else { c = b; }
11   return c;
12 }
13
```

- Un template permette di creare funzioni o classi basate su classi generiche

Array



- Un array è una struttura che può contenere una serie di valori, indicizzati da un numero intero
- In C++ l'indice parte sempre da 0

Array

```cpp
#include <iostream>
#include <array>
int main(){
  std::array<int,5> a;
  for(std::size_t i = 0; i < a.size(); i++) {
    a.at(i) = 2*i;
    std::cout << a.at(i) << std::endl;
  }
  return 0;
}

```

- Necessario includere l'header `<array>`
- `std::array` è un template con due parametri
  - il primo dice il tipo di dato contenuto
  - il secondo dice il numero di celle

Array

```cpp
#include <iostream>
#include <array>
int main(){
  std::array<int,5> a;
  for(std::size_t i = 0; i < a.size(); i++) {
    a.at(i) = 2*i;
    std::cout << a.at(i) << std::endl;
  }
  return 0;
}

```

- `std::size_t` è un tipo di intero senza segno
  - buona abitudine utilizzarlo nei cicli sugli array
- `.size()` restituisce il numero di elementi dell'array
- `.at(i)` permette di accedere all'`i`-esimo elemento

Array

```cpp
#include <iostream>
#include <array>
int main(){
  const int n = 5;
  std::array<int,n> a;
  for(std::size_t i = 0; i < a.size(); i++) {
    a.at(i) = 2*i;
    std::cout << a.at(i) << std::endl;
  }
  return 0;
}

```

- `std::array` accetta solo parametri costanti
  - array statico

Array

```cpp
#include <iostream>
#include <vector>
int main(){
  int n;
  std::cin >> n;
  std::vector<int> a(n);
  for(std::size_t i = 0; i < a.size(); i++) {
    a.at(i) = 2*i;
    std::cout << a.at(i) << std::endl;
  }
  return 0;
}

```

- `std::vector` è un array dinamico
  - consumo leggermente maggiore di memoria

Array

```
1  #include <iostream>
2  #include <vector>
3  int main(){
4    int n;
5    std::vector<int> a(10);
6    for(std::size_t i = 0; i < a.size(); i++) {
7      a.at(i) = 2*i;
8      std::cout << a.at(i) << std::endl;
9    }
10   std::cin >> n;
11   a.resize(n);
12   for(std::size_t i = 0; i < a.size(); i++) {
13     std::cout << a.at(i) << std::endl;
14   }
15   return 0;
16 }
17
```

- `.resize` ridimensiona l'array

Array

```cpp
#include <iostream>
int main(){
  int a[5];
  for(std::size_t i = 0; i < 5; i++) {
    a[i] = 2*i;
    std::cout << a[i] << std::endl;
  }
  return 0;
}

```

- Legacy C-style array
  - sconsigliato: non controlla i limiti
  - `a[10]` non darebbe errore

Matematica

- La libreria `<cmath>`:
  - `std::pow(x,y)` $= x^y$
  - `std::sqrt(x)` $= \sqrt{x}$
  - `std::sin(x)`, `std::cos(x)`, `std::tan(x)`
  - `std::asin(x)`, `std::acos(x)`, `std::atan(x)`
  - `std::atan2(y,x)` $= \arctan \frac{y}{x}$ nel giusto quadrante
  - `std::exp(x)` $= e^x$
  - `std::log(x)` $= \ln x$
  - eccetera...

Matematica

- La libreria `<complex>`:
  - `std::complex<double>` tipo di dato
  - `std::real(x)` $= \Re x$
  - `std::imag(x)` $= \Im x$
  - `std::abs(x)` $= |x|$
  - `std::arg(x)` $= \arg x$
  - overload di operazioni e funzioni

```
1 #include <iostream>
2 #include <complex>
3 int main(){
4   std::complex<double> a(-2,0);
5   std::cout << std::sqrt(a) << std::endl;
6   return 0;
7 }
8
```

Progetti

- Gestire un progetto su più file
- Librerie: `esempio.hpp`
  - dovrebbero contenere solo le dichiarazioni
  - incluse in altri file con **`#include`** `"esempio.hpp"`
  - mai utilizzare **`using`**
- Implementazione delle librerie: `esempio.cpp`
  - contengono la definizione delle funzioni o oggetti della libreria corrispondente
- File principale: `progetto.cpp`
  - contiene il `main()`

Progetti

- myheader.hpp:

```
1 #ifndef TASSONI2016
2 #define TASSONI2016
3 int twice(int);
4 #endif
```

- myheader.cpp:

```
1 #include "myheader.hpp"
2 int twice(int x) { return 2*x; }
```

- project.hpp:

```
1 #include <iostream>
2 #include "myheader.hpp"
3 int main() {
4   std::cout << twice(5) << std::endl;
5 }
```

Progetti

```
1 #ifndef ETICHETTA
2 #define ETICHETTA
3 ...
4 #endif
5
```

- Include guard: evita che lo stesso header sia incluso più volte se è già stato incluso tramite un altro header
- Ogni header dovrebbe avere la propria etichetta

Progetti

- myheader.hpp:

```
1 #ifndef TASSONI2016
2 #define TASSONI2016
3 namespace tassoni {
4   int twice(int);
5 }
6 #endif
```

- myheader.cpp:

```
1 #include "myheader.hpp"
2 int tassoni::twice(int x) { return 2*x; }
```

- project.hpp:

```
1 #include <iostream>
2 #include "myheader.hpp"
3 int main() {
4   std::cout << tassoni::twice(5) << std::endl;
5 }
```

Progetti

- Namespace aumentano la flessibilità del codice
  - più facile riutilizzare il codice senza conflitti
- Più namespace possono essere concatenati
  - funzione `tassoni::uno::twice(x)`

```
3  namespace tassoni {
4    namespace uno {
5      int twice(int);
6    }
7  }
8
```

Progetti

- Compilare un progetto richiede di compilare in ordine le varie parti che lo costituiscono
- Ogni IDE gestisce la cosa in maniera diversa
- Sistemi *nix (Linux/MacOS) supportano Makefile
  - estremamente flessibile nella gestione di progetti ampi
  - esempio: `CPPMakefile`

Software Open Source

- Free Software
  - free = libero
  - free = gratuito
- Software di cui il codice sorgente è
  - visibile a tutti: non serve fiducia
  - modificabile da tutti: adattabilità
- Sviluppato da grandi comunità
  - given enough eyeballs, all bugs are shallow
  - maggiore sicurezza
  - maggiore qualità
- Libertà
  - da logiche di mercato
  - da controllo esterno