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

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

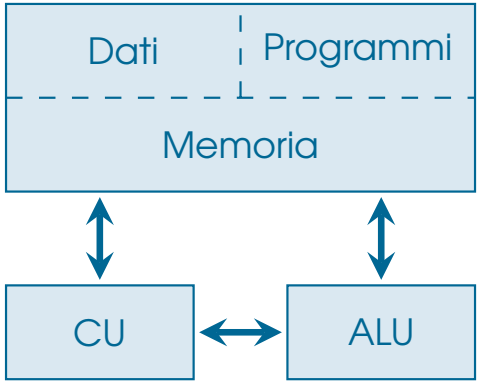
- La prima cifra della rappresentazione scientifica binaria è sempre 1, non serve memorizzarla

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)

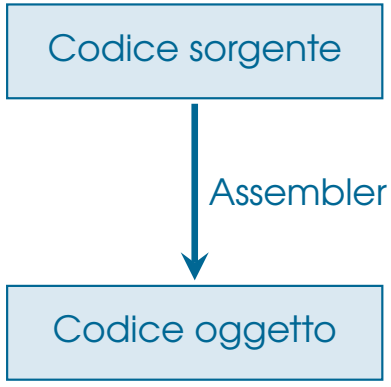
CPU

- 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

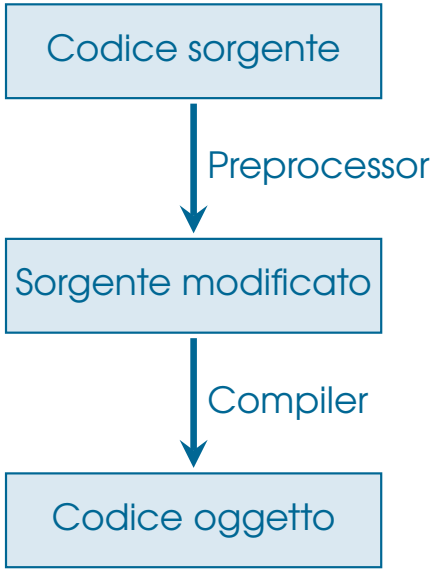


- Il codice sorgente è un file contenente testo
- Il codice oggetto è un file contenente istruzioni binarie
- Un programma detto assembler converte il codice sorgente in codice oggetto, eseguibile dalla CPU

Linguaggi di programmazione

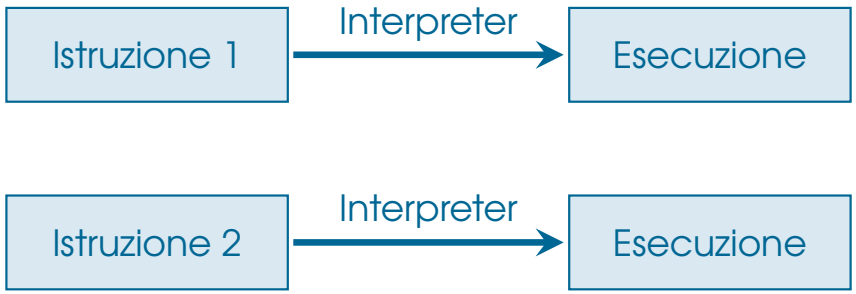
- Un linguaggio di programmazione è un linguaggio formale con il quale scrivere istruzioni
  - distinzione tra istruzioni valide/invalide
  - le istruzioni controllano la CPU
- Distinzione di livello
  - basso livello: 1-ad-1 con istruzioni della CPU
  - alto livello: linguaggi astratti
- Un paradigma 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

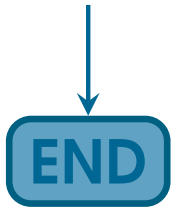
Programmazione imperativa

- 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

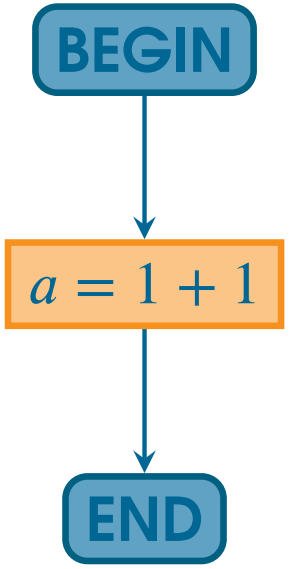


- Istruzioni di inizio e fine diagramma
- Uno ed un solo BEGIN per diagramma
- A volte ammessi più END in un singolo diagramma

Flowcharts

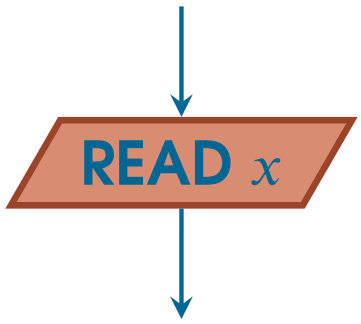
- Istruzione di processo
- Viene eseguita l'operazione indicata nella casella

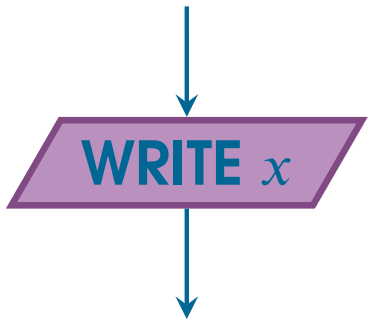
Flowcharts



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

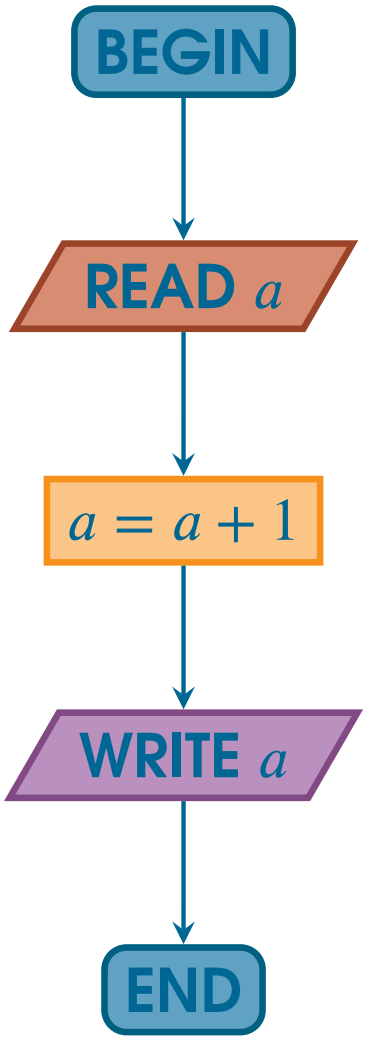
Flowcharts



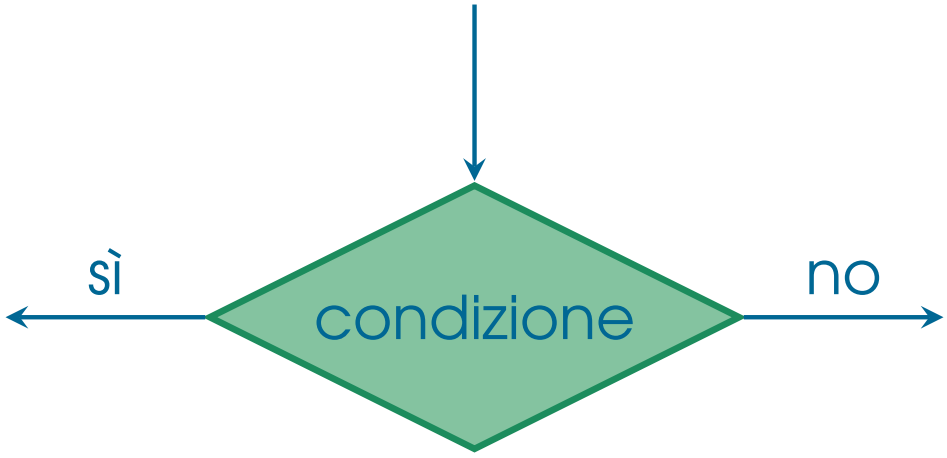


- Istruzioni di lettura/scrittura
- Lettura: un valore inserito dall'utente viene memorizzato nella variabile x
- Scrittura: il valore corrente della variabile x viene comunicato all'utente

Flowcharts

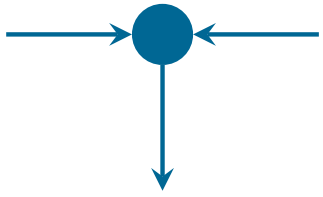


Flowcharts



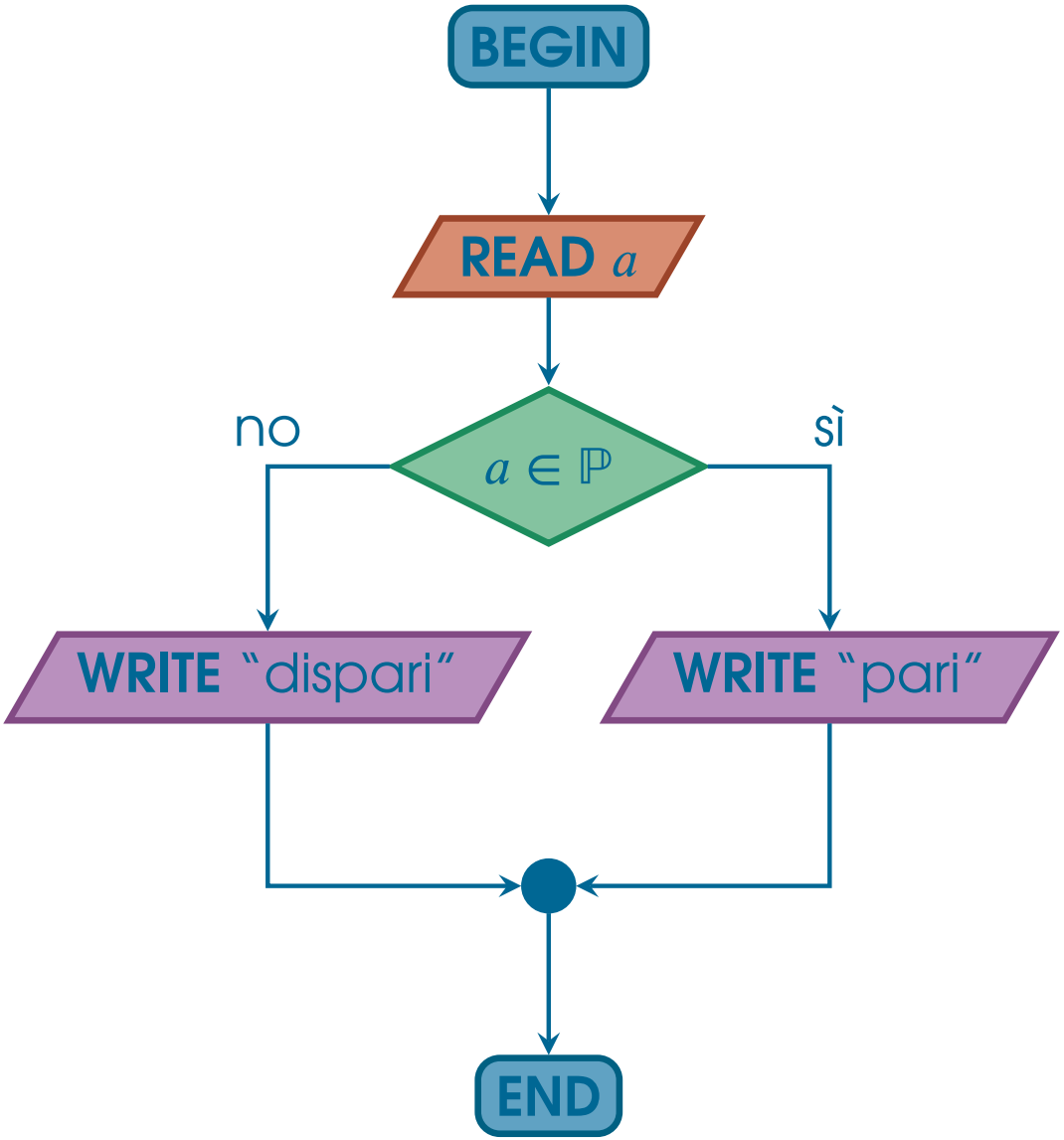
- Istruzione condizionale
- Il flusso del grafico cambia direzione a seconda che la condizione sia vera oppure falsa

Flowcharts



- Connettore
- Permette di rincongiungere due rami separati

Flowcharts



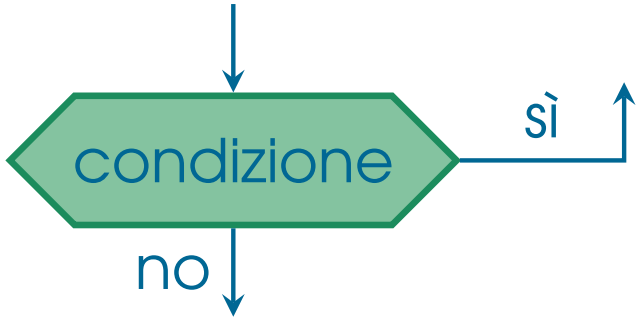
Flowcharts

- 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

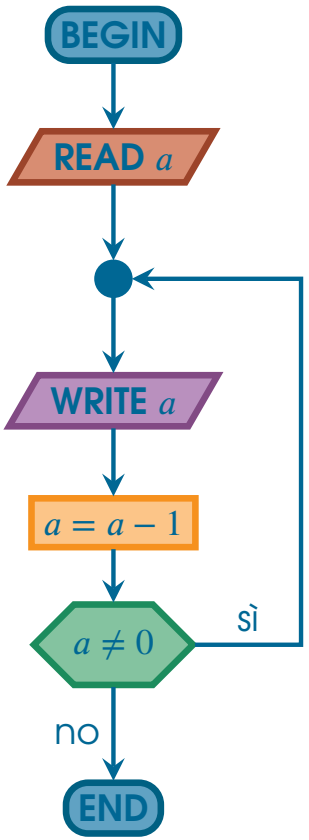
- La programmazione strutturata vieta i goto
- Le frecce non possono risalire il diagramma
- Viene aggiunto un nuovo simbolo
- Teorema di Böhm-Jacopini
  - equivalenza tra imperativa e strutturata

Flowcharts

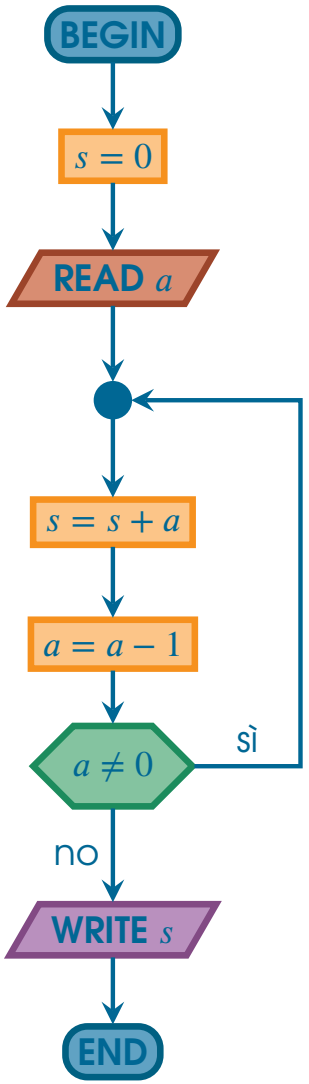


- Istruzione di loop
- Concettualmente identica all'istruzione condizionale, ma uno (ed uno solo) dei due flussi può risalire
- Permette di ripetere una serie di istruzioni

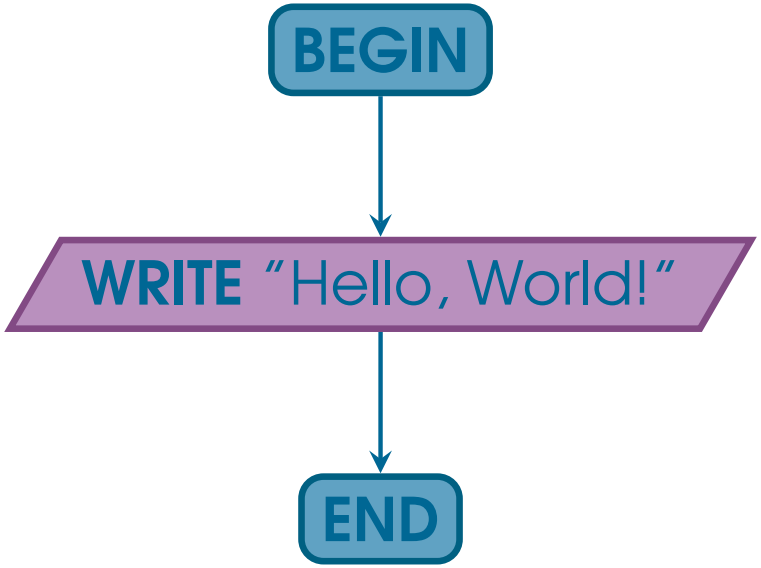
Flowcharts



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

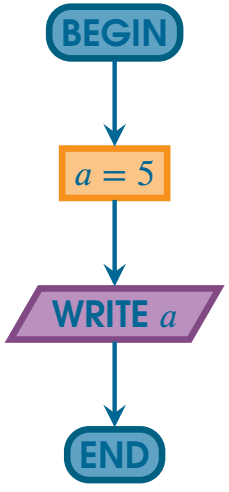
Hello, World!

```
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

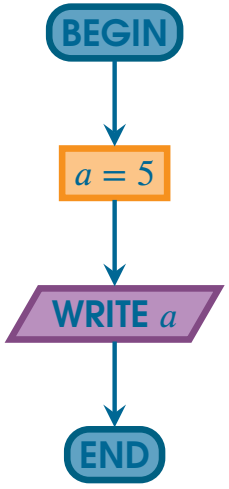
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    a = 5;
7    cout << a << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- `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

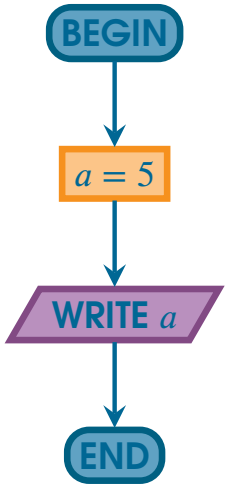
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int a;
5  int main() {
6    a = 5;
7    cout << a << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



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

Variabili

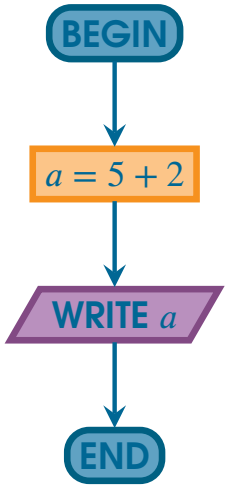
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5;
6    cout << a << endl;
7    return 0;
8  }
9
```



- Inizializzazione in sede di dichiarazione
- Buona abitudine

Variabili

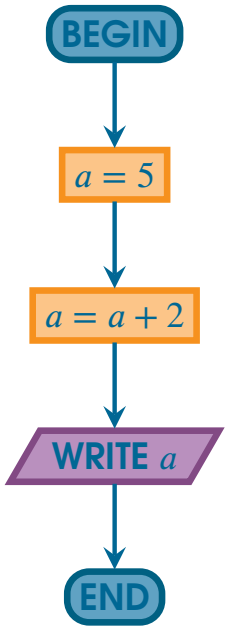
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    a = 5 + 2;
7    cout << a << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- È possibile compiere operazioni

Variabili

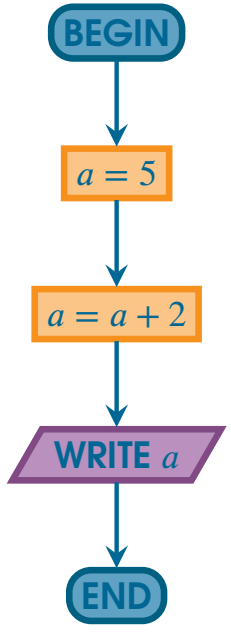
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5;
6    a = a + 2;
7    cout << a << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- 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

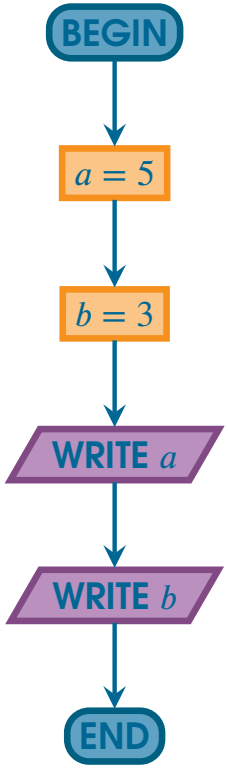
Variabili

- Operazioni:

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

Variabili

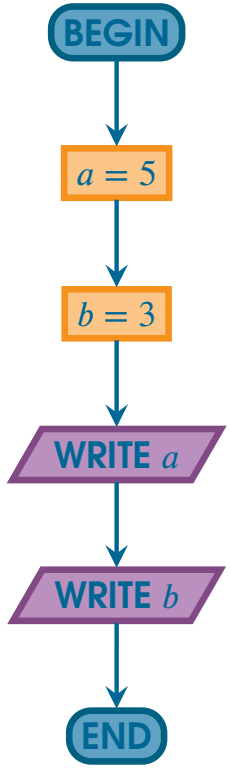
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a;
6    int b;
7    a = 5;
8    b = 3;
9    cout << a << endl;
10   cout << b << endl;
11   return 0;
12 }
13
```



- Posso dichiarare più variabili

Variabili

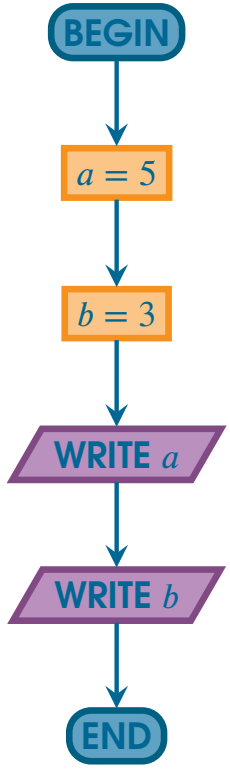
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a, b;
6    a = 5;
7    b = 3;
8    cout << a << endl;
9    cout << b << endl;
10   return 0;
11 }
12
```



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

Variabili

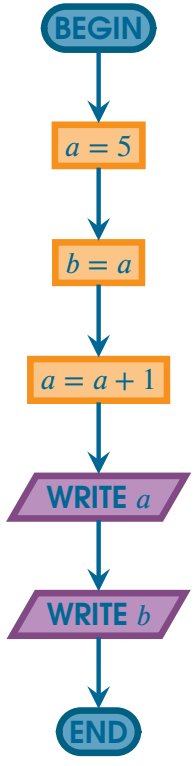
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5, b = 3;
6    cout << a << endl;
7    cout << b << endl;
8    return 0;
9  }
10
```



- Inizializzazione in sede di dichiarazione

Variabili

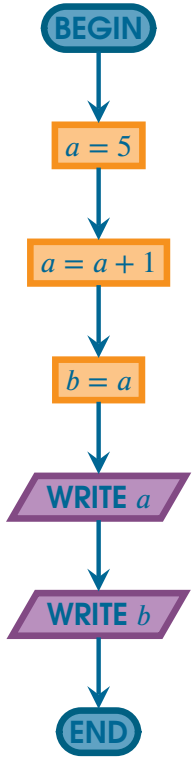
```
1  #include <iostream>
2  using std::cout;
3  using std::endl;
4  int main() {
5    int a = 5, b;
6    b = a++;
7    cout << a << endl;
8    cout << b << endl;
9    return 0;
10 }
11
```



- `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

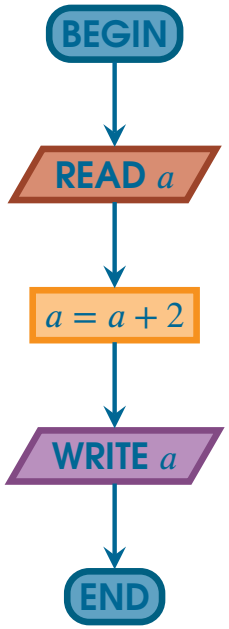
Variabili

```
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

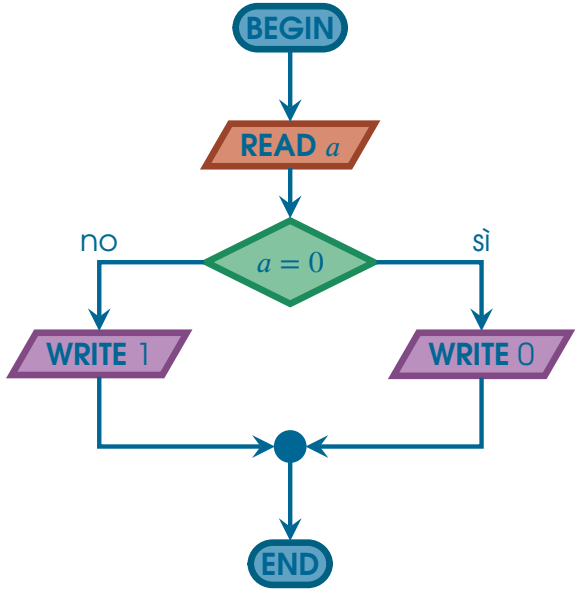
Input/Output

```
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:

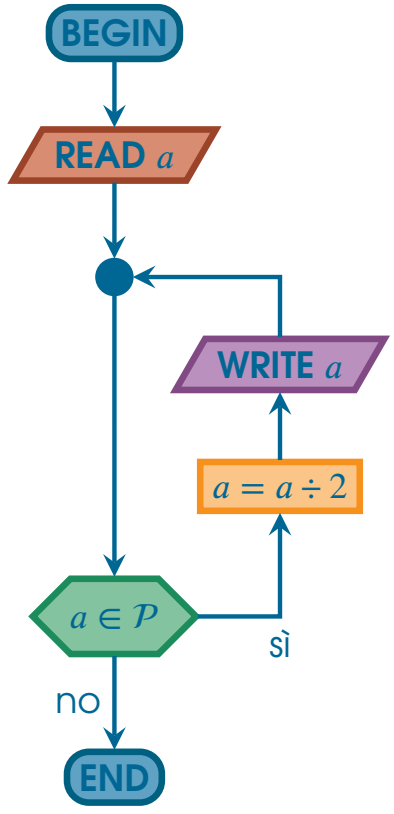
==	uguale
!=	diverso
>	maggiore
>=	maggiore o uguale
<	minore
<=	minore o uguale

- Operatori logici:

!	not
&&	and
||	or

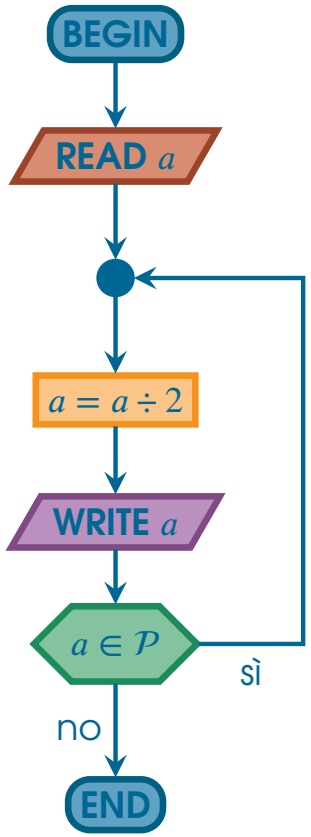
Ciclo while

```
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
```

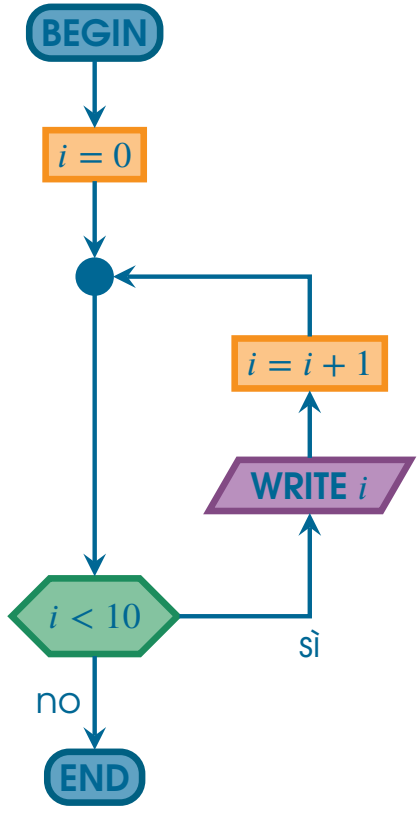


Ciclo while

- `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

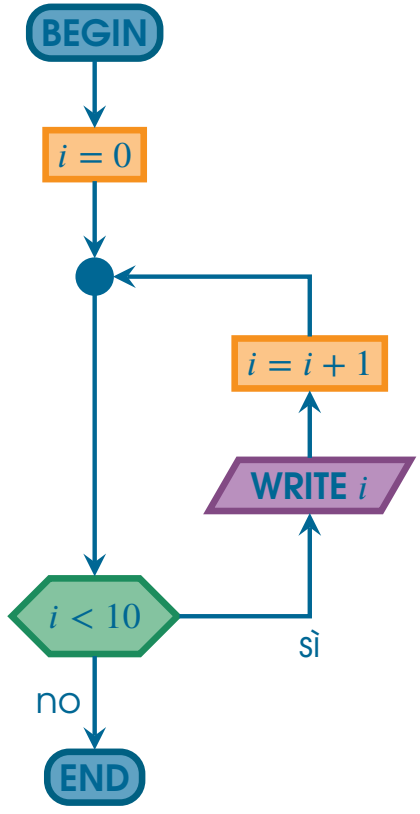
Ciclo for

```
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

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    std::cout << dynamic_cast<int>(a) << std::endl;
7    return 0;
8  }
9
```

- Conversione di dati da un tipo ad un altro
  - **static_cast**: più sicuro, più veloce
  - **dynamic_cast**: più flessibile
  - differenze irrisorie sui tipi standard

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

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

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)