

Indice

| | |
|--|----|
| 1. Introduzione | 2 |
| 1.1. Hello, World! | 2 |
| 1.2. Tipi di dato elementari | 3 |
| 1.2.1. Numeri interi | 3 |
| 1.2.2. Numeri decimali | 3 |
| 1.2.3. Booleani | 3 |
| 1.2.4. Caratteri | 4 |
| 1.2.5. Enumerativi | 5 |
| 1.2.6. Void | 6 |
| 1.2.7. Puntatori | 6 |
| 1.2.8. Reference | 8 |
| 1.3. Dichiarazione e definizione | 9 |
| 1.4. Tipi di dato composti | 11 |
| 1.4.1. Array | 11 |
| 1.4.2. Stringhe | 13 |
| 1.4.3. Struct | 15 |
| 1.5. Scope e namespace | 17 |
| 1.6. Typedef, const, Casting | 21 |
| 1.7. Ciclo di vita delle variabili | 24 |
| 1.8. Funzioni | 27 |
| 1.9. Processo di compilazione | 29 |
| 2. Appendice | 32 |
| 2.1. Doxygen | 32 |

1. Introduzione

1.1. Hello, World!

L'entry point di un programma C++ è una funzione avente nome `main`. Tale funzione deve essere globale e ne deve esistere una ed una sola copia. Il suo tipo di ritorno deve essere `int`, perché ciò che viene restituito è il valore di successo o di errore dell'esecuzione del programma. Il suo numero di argomenti è variabile (anche zero), e tali argomenti vengono forniti al programma direttamente dall'utente quando il programma viene avviato.

```
int main()
{
    ...
    return 0;
}
```

Il programma `Hello, World!` per il linguaggio C++, che stampa sullo standard output tale stringa, è il seguente:

```
#include <iostream>

int main()
{
    std::cout << "Hello, World!" << std::endl;

    return 0;
}
```

`std::cout` è un oggetto definito nella libreria standard del C++ (nello specifico, definito nell'header `iostream`, che viene importato) preposto alla stampa sullo standard output. A prescindere di quale sia il tipo di dato che `std::cout` debba stampare, questo lo restituisce come carattere.

In maniera molto simile, per leggere input da tastiera è possibile sfruttare `std::cin`

```
#include <iostream>

int main()
{
    int something;
    std::cin >> something;
    std::cout << "I got " << something << std::endl;

    return 0;
}
```

Nel caso in cui si voglia mostrare un messaggio di errore, è possibile scrivere sullo standard error mediante `std::cerr`. Questo è in genere più rapido che scrivere sullo standard output perché lo standard error non fa buffering, e quindi l'overhead è minore. Aiuta inoltre a separare i messaggi di errore dal normale flusso di esecuzione del programma.

Gli operatori `<<` e `>>` sono operatori che rispettivamente inseriscono dati in uno stream ed estraggono dati da uno stream. C++ supporta la **ridefinizione** degli operatori, pertanto è possibile assegnare ad un operatore una funzione diversa a seconda del tipo di dato che si richiede che questo manipoli. In effetti, tali operatori sono essi stessi una ridefinizione, dato che il loro uso di "default" è lo shift logico (a sinistra e a destra rispettivamente).

1.2. Tipi di dato elementari

Ogni nome (identificatore) in un programma C++ deve aver associato un **tipo**. Il tipo di un dato determina sia la quantità di memoria assegnata al dato, sia quali operazioni possono essere eseguite sul dato, e come tali operazioni devono venire interpretate.

Nel C++ si distinguono i seguenti tipi di dato primitivi:

- **numeri interi;**
- **booleani;**
- **caratteri;**
- **numeri decimali;**
- **enumerativi;**
- `void`;
- **puntatori;**
- **reference.**

1.2.1. Numeri interi

I numeri interi sono rappresentati attraverso tre tipi di variabili: `int`, `unsigned int` e `signed int`. Esistono poi tre sottotipi di intero, rispetto alla dimensione: `int` (dimensione standard), `long int` (dimensione doppia rispetto a `int`) e `short int` (dimensione dimezzata rispetto a `int`). `long` può venire usata come abbreviazione per `long int`, così come `short` lo è per `short int`. Quanto effettivamente occupino dei dati memorizzati con tali tipi dipende dall'implementazione in uso, ma in genere la dimensione di un dato `int` non può essere inferiore a 16 bit.

I modificatori per il segno e per la dimensione possono essere combinati. Se non viene specificato direttamente, un tipo `int` viene inteso come un intero con segno. Pertanto, non esiste alcuna differenza fra `signed int` e `int`, semplicemente il secondo denota esplicitamente la presenza del segno. Il compilatore restituisce un warning se si cerca di assegnare un valore ad un tipo decimale che eccede la sua capacità. La dimensione di un intero `signed`, `unsigned` o non specificato è sempre la stessa, ciò che cambia è l'intervallo di valori rappresentabili. Se un numero intero viene riportato così com'è, il compilatore assume che sia un numero in rappresentazione decimale. Se al numero viene anteposto `0`, questo viene inteso in rappresentazione ottale. Se al numero viene anteposto `0x`, questo viene inteso come in rappresentazione esadecimale. Se al numero viene postposto `U`, viene inteso come numero senza segno, mentre se al numero viene postposto `L`, viene inteso come avente modificatore `long`.

1.2.2. Numeri decimali

Un valore decimale è un valore numerico floating point. Esistono in tre dimensioni: `float` (precisione singola), `double` (precisione doppia) e `long double` (precisione estesa). Quanto effettivamente occupino dei dati memorizzati con tali tipi dipende dall'implementazione in uso, ma in genere la dimensione di un dato `double` non può essere inferiore a 32 bit.

Se non viene specificato diversamente, un dato floating-point è di tipo `double`. Il compilatore restituisce un warning se si cerca di assegnare un valore ad un tipo decimale che eccede la sua capacità.

1.2.3. Booleani

Un valore booleano può assumere solamente due valori, `true` e `false`. Un booleano può essere usato per esprimere il risultato di una operazione logica. Internamente, un valore booleano viene considerato come un numero intero che può avere esclusivamente valore 1 (`true`) oppure 0 (`false`). Infatti, stampando un booleano tramite `std::cout` viene restituito 1 oppure 0.

Se utilizzato in una espressione aritmetica, un valore booleano viene trattato come un intero (1 se `true`, 0 se `false`). D'altra parte, un numero intero che viene convertito in un booleano diventa `true` se ha un qualsiasi valore che non sia 0 e `false` altrimenti. Anche un puntatore può essere convertito in un booleano. Un puntatore a `nullptr` viene convertito come `false` e come `true` altrimenti.

```

int x = 10;
int y = 5;

bool b = (x > y);    // True, since 10 is greater than 5
bool c = !(x != y)   // False, since 10 is not 5

b = -3;              // True, since -3 is not 0
c = &x;              // True, since it's not a null pointer

```

1.2.4. Caratteri

Una variabile di tipo `char` contiene un singolo carattere del set di caratteri supportato dall'implementazione in uso. Sebbene il set di caratteri supportato può variare molto da implementazione a implementazione, è possibile assumere che questo sia almeno 7-bit ASCII, e che contenga quindi almeno le dieci cifre decimali, le 26 lettere dell'alfabeto inglese ed i principali segni di punteggiatura.

Internamente, un carattere viene considerato come un numero intero costante. Riferirsi ai caratteri in quanto tali anziché riferirvisi direttamente mediante i numeri interi che li rappresentano permette di introdurre un livello di astrazione maggiore ed evitare di considerare gli specifici dettagli implementativi. Essendo numeri interi, possono essere manipolati aritmeticamente come di consueto, ma se stampati con `std::cout` vengono resi come caratteri.

La possibilità di convertire un `char` in un `int` lascia aperta una questione: `char` è `signed` oppure `unsigned`? Un `char` di 8 bit potrebbe contenere un valore fra -128 e 127 oppure fra 0 e 255 a seconda se abbia o non abbia il segno. Sfortunatamente, la scelta non è standardizzata, ma dipende dall'implementazione. C++ permette di dichiarare una variabile di tipo `char` specificatamente come `signed` per rifarsi alla prima rappresentazione e `unsigned` per la seconda. Fortunatamente, la maggior parte dei caratteri di uso comune si trovano fra 0 e 127, pertanto la differenza è spesso irrilevante.

```

char a = 'b';        // a is 'b', which is 98
a /= 2;              // a is '1', which is 49
a++;                 // a is '2', which is 50
a *= 10;             // a is out of range

```

I caratteri Unicode non possono essere rappresentati mediante `char`, perché richiedono troppa memoria. Per usecase di questo tipo è possibile rifarsi al tipo di dato `wchar_t`.

Il tipo `char` è la più piccola entità che può essere indirizzata, pertanto non può avere dimensione inferiore a 8 bit. `char` è il tipo di dato che più di tutti ha la stessa dimensione nelle diverse implementazioni; per questo motivo, la dimensione di un `char` è quella che viene utilizzata dal C++ come "unità di misura" per esprimere la dimensione degli altri tipi di dato. In particolare, la funzione della libreria standard `sizeof()` restituisce la dimensione in multipli di `char` del tipo di dato passato come argomento (in alternativa, è possibile recuperare queste informazioni dal file della libreria standard `#limits.h`).

```

std::cout << sizeof(char) << std::endl;    // prints, say, 1
std::cout << sizeof(int) << std::endl;    // prints, say, 4
std::cout << sizeof(double) << std::endl; // prints, say, 8

#include <limits.h>
int main()
{
    std::cout << "largest float ==> " << numeric_limits<float>::max()
    << ", char is signed ==> " << numeric_limits<char>::is_signed()
    << std::endl;
}

```

Queste sono le relazioni fra le dimensioni fra i tipi che sono consistenti in tutte le implementazioni:

```

1 = sizeof(char) ≤ sizeof(short) ≤ sizeof(int) ≤ sizeof(long)
1 ≤ sizeof(bool) ≤ sizeof(long)
sizeof(char) ≤ sizeof(wchar_t) ≤ sizeof(long)
sizeof(float) ≤ sizeof(double) ≤ sizeof(long double)
sizeof(char) = sizeof(signed char) = sizeof(unsigned char)
sizeof(int) = sizeof(signed int) = sizeof(unsigned int)
sizeof(short int) = sizeof(signed short int) = sizeof(unsigned short int)
sizeof(long int) = sizeof(signed long int) = sizeof(unsigned long int)

```

1.2.5. Enumerativi

Un `enum` è un tipo di dato che consente di associare in maniera automatica dei valori interi costanti a delle sequenze alfanumeriche, di modo da usarle come “segnaposto” per dei valori legati da una qualche semantica.

```
enum name {name_1 = value_1, name_2 = value_2, ..., name_n = value_n};
```

Ogni elemento che figura fra le quadre viene chiamato *enumeratore*, ed il valore che vi viene associato può venire specificato oppure lasciato dedurre al compilatore. Nel secondo caso, a tutti gli enumeratori che vengono dopo l'ultimo a cui è stato associato un valore esplicitamente viene assegnato il valore a questo successivo. Se nessun valore viene specificato, agli enumeratori assegnati i numeri 1, 2, 3, ...,

Ciascun `enum` va a costituire un tipo di dato a sé stante. Ovvero, il tipo di dato di un enumeratore è il nome dello specifico `enum` di cui fa parte, non `enum` generico. In una operazione aritmetica, un enumeratore viene considerato come il valore che gli è stato assegnato, e si comporta come un normale intero. Tentando di stamparlo con `std::cout` viene restituito il valore numerico, non il nome dell'enumeratore.

Il *range* di una enumerazione contiene i valori di tutti i suoi enumeratori arrotondati alla più grande vicina potenza di due meno uno. L'estremo sinistro del range viene scalato a 0 se a nessun enumeratore è associato un valore negativo e alla più piccola potenza negativa di due in caso contrario. Il `sizeof` di una enumerazione è la stessa di un tipo di dato sufficientemente grande da contenerne il range e non maggiore di `sizeof(int)`, a meno che uno o più dei suoi enumeratori ha assegnato un valore troppo grande per essere rappresentato in un `int` o `unsigned int`.

```
enum day {Mon = 10, Tue = 20, Wed = 30, Thu = 40,
          Fri = 50, Sat = 60, Sun = 70};

day d;
d = Wed;           // Allowed
d = 10;            // NOT Allowed
int f = Fri;       // Allowed

enum days {Mon, Tue, Wed, Thu, Fri, Sat, Sun};
// 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
enum daysss {Mon = 1, Tue, Wed = 5, Thu, Fri = 2, Sat, Sun};
// 1, 2, 5, 6, 2, 3, 4
```

1.2.6. Void

Il tipo `void` rappresenta una mancanza di informazione e non può essere assegnato direttamente ad una variabile. Può essere usato esclusivamente in due contesti: per contrassegnare che una funzione non ritorna alcun valore oppure per specificare che un puntatore si riferisce ad una variabile il cui tipo non è noto a priori¹.

```
void x;           // NOT allowed
void f();         // f() is a function that does not return anything
void* y;          // y is a pointer to an object of unknown type
```

1.2.7. Puntatori

Un puntatore è un tipo di dato che contiene un riferimento ad un indirizzo di memoria. Esistono tanti tipi di puntatori quanti sono i tipi primitivi; per quanto contengano un indirizzo di memoria (che è un numero), il loro tipo non è un intero, bensì è specificatamente di tipo “puntatore a...”. Puntatori a tipi diversi sono incompatibili. Nonostante questo, la dimensione di un puntatore non dipende dal tipo di dato, in quanto gli indirizzi di memoria hanno tutti la stessa dimensione.

Un puntatore viene dichiarato come una normale variabile di tale tipo, ma postponendo `*` al tipo². Anteponendo `&` al nome di una variabile se ne ottiene l'indirizzo di memoria. Per ricavare il valore della cella di memoria a cui un puntatore è associato si antepone `*` al nome della variabile. L'atto di “risalire” al valore a cui un puntatore è legato è una operazione che prende il nome di **dereferenziazione**.

```
variable_type* pointer_name
variable_type* pointer_name = &variable_to_point
variable_type variable_name = *pointer_name
```

Il valore di default per un puntatore è `NULL` oppure (standard C++11) `nullptr`. È anche ammesso che un puntatore punti a 0, dato che una istruzione di quel tipo viene interpretata dal compilatore in maniera speciale (non venendo mai allocato nulla all'indirizzo 0).

¹Per indicare che una funzione non ritorna alcun valore non è possibile semplicemente non riportare il tipo della funzione. Questo sia per mantenere la retrocompatibilità con il linguaggio C, sia perché altrimenti la grammatica del C++ diverrebbe più complessa.

²Tecnicamente, la scrittura `type* v` è equivalente a `type * v` e a `type *v`. Questo perché il token `*` viene riconosciuto dal parser singolarmente, quindi non c'è differenza nella sua posizione. Scegliere uno stile piuttosto che un'altro dipende da preferenze personali.

```

int* p = nullptr;           // initialises a pointer p

int s = 10;                 // initialises an integer s

p = &s;                    // p points to the memory address of s

std::cout << *p << std::endl; // retrieves the value to which p is
                                // pointing, and prints it

(*p)++;                    // retrieves the value to which p is
                                // pointing, and increments it by one

```

Un puntatore, pur non venendo considerato un intero, può essere manipolato come tale. In particolare, è possibile sommare un intero ad un puntatore, e l'operando `+` viene reinterpretato non come una somma nel senso stretto del termine ma come lo spostamento di un offset di tante posizioni quante ne viene specificato. Il numero di posizioni dipende dal tipo di puntatore: sommare `N` ad un puntatore equivale a spostare la cella di memoria a cui si riferisce di `N` volte la dimensione del tipo di dato a cui il puntatore si riferisce. La scrittura `p[n]` permette di risalire al valore che si trova `n` posizioni in avanti rispetto al puntatore `p` (è uno spostamento unito ad una dereferenziazione). La differenza fra due puntatori restituisce il numero di elementi che si trovano nell'intervallo fra le posizioni in memoria a cui i due si riferiscono. Il confronto (`=`) fra due puntatori viene fatto rispetto ai rispettivi valori, e non a ciò a cui puntano. Cercando di stampare il valore di un puntatore mediante `std::cout` si ottiene effettivamente l'indirizzo di memoria a cui il puntatore è associato (espressa in esadecimale).

```

int d = 1;
int* p = &d;

int c = p[2];               // A shorthand for *(p + 2)

p = p + 3;                 // pointer's location is shifted by one.
                          // A shorthand for p = p + 3 * sizeof(int)

std::cout << p << std::endl // prints, say, 0xfffff7d7761c

```

Il fatto che sui puntatori sia possibile fare aritmetica può presentare un problema, perché significa che è tecnicamente possibile, dall'interno di un programma C++, raggiungere aree di memoria che non sono di competenza del programma stesso, semplicemente incrementando o decrementando il valore di un puntatore. Fortunatamente questo non può accadere, perché il sistema operativo lo previene emettendo un messaggio di errore `Segmentation Fault` e fermando il programma prima che avvenga l'accesso. Per questo motivo non è consigliabile (a meno di casi eccezionali) inizializzare un puntatore fornendogli direttamente un indirizzo di memoria, perché questo comporta che si chieda al programma di accedere ad una area di memoria specifica senza poter sapere se il programma possa accedervi, dato che gli indirizzi in RAM vengono assegnati in maniera sostanzialmente arbitraria.

Essendo un puntatore comunque una variabile, anch'esso si trova in una certa area di memoria, ed è pertanto possibile risalire all'area di memoria di un puntatore. Questo significa che è possibile avere dei puntatori a dei puntatori. Inoltre, nulla vieta di avere più di un puntatore legato alla stessa area di memoria.

```

char s = 's';           // A char
char* ss = &s;          // A pointer to a char
char* sss = &ss;         // A pointer to a pointer to a char
char** f = &ss;          // A pointer to a pointer to a char (in one go)

```

È possibile sfruttare dei puntatori di tipo `void` per aggirare le limitazioni imposte dal compilatore sui puntatori, in particolare i vincoli di tipo. Infatti, un puntatore di tipo `void` può riferirsi a qualsiasi tipo di dato, ed è possibile riassegnare un puntatore di tipo `void` a dati diversi. Per operare la dereferenziazione è però necessario compiere un casting esplicito al tipo di dato a cui il puntatore si riferisce in questo momento. Sebbene nel C vi fosse una certa utilità nei puntatori `void`, nel C++ è da considerarsi una funzionalità deprecata.

```

int i;
double d;

void* pi = &i;
void* pd = &d;
int* ppd = pd;           // NOT Allowed

int x = *((int*) (pi));   // Ok
int y = *((int*) (pd));   // Allowed, but VERY dangerous

```

Le utilità dei puntatori sono riassunte di seguito:

- Permettono di riferirsi a più dati dello stesso tipo;
- Permettono di condividere uno stesso dato in più parti di codice senza doverlo ricopiare più volte;
- Permettono di accedere ai dati indirettamente, non manipolando il valore della variabile in sé ma bensì accedendo alla memoria su cui tale dato si trova;
- Permettono il passaggio per parametri alle funzioni, non passando direttamente il valore ma il puntatore, risparmiando memoria;
- Permettono di costruire strutture dati dinamiche, come liste e alberi;

1.2.8. Reference

Una **reference** è un tipo di dato simile al puntatore. Una reference è di fatto un *alias* per un'altra variabile; ogni volta che viene fatta una manipolazione sulla reference, tale manipolazione viene propagata sulla variabile originale. Una reference deve necessariamente essere inizializzata quando viene dichiarata, pena messaggio di errore da parte del compilatore, perché una reference non inizializzata non ha alcun significato. L'inizializzazione deve essere rispetto ad una variabile, non rispetto ad un valore. Una volta dichiarato ed inizializzato, un reference non può venire "sganciato" e riassegnato ad una variabile diversa, nemmeno se ha lo stesso tipo della precedente. Così come i puntatori, le reference sono di tipo "reference a...".

```
reference_type& reference_name = variable_to_be_referenced
```



```

int x = 10;
int& y = x;      // y references x
y++;            // de facto x++

int& z;          // NOT allowed
int& w = 10;     // NOT allowed

```

1.3. Dichiarazione e definizione

Nel C++ si fa distinzione fra **dichiarazione** e definizione di una entità (che sia un tipo, un oggetto o una funzione). Una dichiarazione introduce un nome (identificatore) e descrive il suo tipo. Una dichiarazione è ciò che il compilatore deve sapere si riferisce a tale identificatore. Una **definizione** è l'istanziamento/implementazione di tale identificatore. Una definizione è ciò che il linker deve sapere si riferisce a tale identificatore.

Dichiarare una variabile significa notificare al compilatore che tale variabile esiste ed ha un certo nome, ma quale sia il suo valore non è da cercarsi nel file attuale (in genere questo viene fatto per la definizione di costanti globali in sostituzione a `#define`).

La definizione è distinta dall'**inizializzazione**, ovvero assegnare un valore iniziale. Una variabile può essere sia inizializzata mentre la si definisce, oppure può essere fatto separatamente. Se una variabile non viene inizializzata, il suo valore potrebbe essere indeterminato.

```

// Declaration without definition

extern int error_number;
struct User;
class Person;

// Declaration with definition

int error_number;
double funny = 6.9;
char* name = "Hello, World!";
struct Date {int day, int month, int year;};

```

Dichiarare una funzione significa riportarne la **firma**, ovvero il tipo del valore di ritorno, il suo nome ed il numero e tipo dei suoi argomenti. Definire una funzione significa, oltre a dichiararla, anche specificarne il corpo.

```

// Declaration without definition

double square_root(double n);

// Declaration with definition

double square_root(double n)
{
    // body goes here...

    return ...;
}

```

Se un nome viene utilizzato all'interno di un programma ma non viene dichiarato, il programma non può essere compilato. Se un nome viene utilizzato all'interno di un programma ma non viene definito, il programma può comunque essere compilato, ma non può essere linkato. Una definizione implica anche una dichiarazione, il contrario non è necessariamente vero.

Dichiarare più volte una stessa variabile/funzione allo stesso modo non dà errore, perché si sta semplicemente specificando più volte al compilatore che quella entità "esiste". Viene restituito un messaggio di errore durante la compilazione nel caso in cui che vi siano più dichiarazioni di una stessa variabile/funzione se queste sono discordanti fra loro. Definire più volte una stessa variabile/funzione restituisce sempre un messaggio di errore durante la compilazione. Due dichiarazioni che differiscono per il tipo ma hanno lo stesso nome sono ammesse.

```
int x;
int x;                // NOT allowed

float y;
char y;              // Allowed

extern double pi;
extern double pi;    // Allowed

extern int err_code;
extern long err_code; // NOT allowed
```

Una dichiarazione è costituita da quattro componenti: una specifica opzionale, un tipo base³, un dichiaratore, una inizializzazione opzionale. Ad eccezione delle funzioni e dei namespace, una dichiarazione termina con un punto e virgola. La specifica è costituita da una parola chiave come `virtual` o `extern`, che riporta una caratteristica dell'identificatore che esula dal suo tipo. Un dichiaratore è costituito da un nome e opzionalmente da un operatore. Gli operatori possono essere sia prefissi che postfissi; gli operatori prefissi, nella grammatica, hanno priorità maggiore. Gli operatori più comuni sono:

| | | |
|----|-----------|-----------------------------------|
| * | puntatore | prefisso (prima del dichiaratore) |
| & | referenza | prefisso (prima del dichiaratore) |
| [] | array | postfisso (dopo il dichiaratore) |
| () | funzione | postfisso (dopo il dichiaratore) |

È possibile dichiarare più nomi in una sola dichiarazione. La dichiarazione è semplicemente costituita da una lista di dichiaratori separati da virgole. Gli operatori non vengono estesi a tutti i dichiaratori in una dichiarazione multipla, sono legati esclusivamente al dichiaratore in cui figurano.

```
int x, y, z;          // int x; int y; int z;
int *x, y, z;         // int *x; int y; int z;
int x, *y, z;         // int x; int *y; int z;
```

Un nome (identificatore) consiste di una sequenza di lettere e cifre. Il primo carattere di un nome deve per forza essere una lettera; il carattere `_` viene considerato come lettera. Lo standard C++ non impone un limite alla lunghezza di un nome, ma un compilatore o un linker potrebbe farlo. Alcune implementazioni del C++ permettono di utilizzare caratteri speciali (come `$`) nei nomi, ma è best practice comunque evitarlo per aumentare la

³Nei precedenti standard del C e del C++, il tipo base era opzionale, e se veniva omissso veniva implicitamente considerato `int`. Questa feature è stata rimossa.

compatibilità. I nomi delle parole chiave della grammatica del C++ (`int`, `if`, `throw`, ecc...) non possono essere usati come nomi.

```
// Valid identifiers
hello    ____    a123    INT    Hello_World    _x_y_z_    tHiSnAmE    __0__
// Non valid identifiers
Hello World    012345    float    $name    var.i.able    else
```

I nomi che iniziano con il carattere `_` sono in genere riservati per l'implementazione e l'ambiente run-time, ed è pertanto best practice non usarli. Il carattere di spazio serve a separare i token della grammatica, pertanto due sequenze di caratteri inframezzati da spazi vengono sempre considerati due token distinti. C++ è case sensitive, pertanto le lettere maiuscole e minuscole sono considerate caratteri distinti.

È considerata bad practice scegliere due identificatori distinti che differiscono per pochi caratteri. I nomi di grandi scope è bene che abbiano un nome lungo di modo da metterli in evidenza, mentre le variabili poco importanti di scope piccoli possono essere chiamati anche con singole lettere. In genere, è più utile dare nomi che riflettono la semantica che ha quell'entità, piuttosto che il modo in cui viene implementata, perché rende il codice più leggibile.

1.4. Tipi di dato composti

Combinando fra loro tipi primitivi, è possibile costruire tipi di dato composti. Nel C++, i principali dati composti sono tre: **array**, **stringhe** e **strutture**.

1.4.1. Array

Un **array** è una sequenza di dati dello stesso tipo, memorizzati in aree di memoria contigue chiamate **celle**. Gli array sono utili per memorizzare dati che fra loro hanno un qualche legame logico.

Un array viene dichiarato come una normale variabile di un certo tipo, ma accodando `[]` al nome. Dentro alle parentesi quadre è opzionalmente riportata la sua **dimensione**, ovvero il numero di celle di cui è costituito. Un array viene inizializzato riportando fra parentesi graffe i valori, separati da virgole, che verranno assegnati ordinatamente a ciascuna posizione dell'array. Se vi sono più valori che posizioni nell'array, il compilatore restituisce un errore, mentre l'opposto è ammissibile (le celle rimaste vuote vengono automaticamente riempite con 0).

```
array_type array_name[n]           // Size set to n
array_type array_name[n] = {v1, ..., vm} // m can't be greater than n
array_type array_name[]           // Size to be determined
array_type array_name[] = {v1, ..., vn} // Size is set to n by the compiler
```

Se la dimensione di un array non viene riportata, il compilatore la “deduce” sulla base del numero di elementi con il quale è stato inizializzato (se è stato inizializzato con n elementi, allora gli viene assegnata in automatico la dimensione n). La dimensione di un array, se riportata esplicitamente, deve essere un valore costante, non il contenuto di una variabile, anche se il valore di tale variabile è noto, e non è ammesso che questa venga determinata a runtime⁴. Una volta fissata la dimensione di un array, non è più possibile cambiarla (estenderla o restringerla).

Non è possibile cambiare i valori assegnati alle celle di un array usando la medesima sintassi dell'inizializzazione, ma occorre farlo cella per cella. Riportando il nome dell'array con N fra le parentesi graffe si ottiene il valore nella $(N - 1)$ -esima cella dell'array; gli array partono da 0. Il compilatore non restituisce un messaggio di errore se si cerca di accedere ad una cella di memoria che supera le dimensioni dell'array. Nonostante questo, è comunque considerato un comportamento semanticamente scorretto, perché (come nel caso dei puntatori) si sta cercando di accedere ad un'area di memoria non assegnata al programma, e gli effetti sono imprevedibili.

⁴Molti compilatori hanno introdotto una estensione che permette di avere array la cui dimensione viene calcolata a runtime (**variable-length arrays** o **VLA**). Per forzare il compilatore a non usare questa estensione, molti mettono a disposizione il flag `-pedantic` che garantisce aderenza totale allo standard ISO C++.

```

char array1[3]           // Not initialised
char array2[3] = {'a', 'b', 'c'} // Fully initialised (sizes match)
char array3[3] = {'a'}   // Partially initialised (less elements than size)
int array4[] = {1, 2, 3, 4, 5} // Size is set to 5 by the compiler

array2 = {'p', 'q', 'r'} // NOT allowed
array3[0] = 'f';          // Allowed
array3[1] = 'b';          // Allowed
array4[10] = 10;          // NOT allowed

char x = array3[0]        // Allowed
char x = array2[5]        // Allowed, but...

```

Un array può essere costituito a sua volta da array; si parla in questo caso di **array multidimensionale**. Un array multidimensionale viene dichiarato come un normale array ma riportando tante parentesi quadre quante sono le dimensioni; il valore fra le parentesi quadre indica la lunghezza degli array di tale dimensione. Solamente la prima dimensione di un array multidimensionale (quella più a sinistra) può venire lasciata alla deduzione del compilatore: le restanti devono per forza essere specificate. I “sotto-array” di un array multidimensionale sono comunque tutti dello stesso tipo.

```

// Multidimensional array having n dimensions. First dimensions is long
// a, second is long b, etcetera
array_type array_name[a][b]...[n]

```

```

int array0[5][3];
int array1[2][3] = {{1, 2, 3}, {4, 5, 6}};
int v = array1[0][2]; // First array, third element

int array2[][3] = {{1, 2, 3}, {4, 5, 6}}; // Allowed
int array3[3][] = {{1, 2, 3}, {4, 5, 6}}; // NOT allowed
int array4[][] = {{1, 2, 3}, {4, 5, 6}}; // NOT allowed

```

La sintassi degli array è molto simile alla sintassi dei puntatori, perché i due sono intimamente legati. Infatti, è possibile inizializzare un puntatore con il nome di un array (fintanto che i tipi sono coerenti); sebbene questo non sia formalmente corretto, dato che un array *non* è un puntatore, questo abuso di notazione è accettato per motivi storici. Un puntatore che assume come valore un array diventa un puntatore al primo elemento di tale array. Una volta inizializzato un puntatore con un array, è possibile utilizzarlo per scorrere lungo l’array in maniera naturale. Un puntatore può anche essere inizializzato con un elemento dell’array specifico, e diventa un puntatore a tale cella di memoria.

```

int array[3] = {-1, -2, -3};

int *p;
p = array;           // Allowed, but should be p = &(array[0])

int *q = array++;    // Allowed, but should be q = &(array[1])
array++;             // NOT allowed
p++;                 // Allowed, points to array[1]

int w = p[0]         // Equals *array[1]
int x = p[1]         // Equals *array[2]

```

I puntatori possono essere associati anche ad array multidimensionali. Assegnare un puntatore ad un array multidimensionale corrisponde ad assegnarlo ad uno dei suoi sottoarray; scorrere con tale puntatore corrisponde a scorrere di sottoarray in sottoarray.

```

int array[2][3] = {{1, 2, 3}, {4, 5, 6}};

int* q = array;       // NOT allowed
int (*p)[3] = array;  // Pointer to first array of 3 integers

p++;                  // Shifts to next 3-dimensional array
(*p)[1] = 10;         // array[1][1] = 10

```

1.4.2. Stringhe

Una **stringa** è un tipo di dato che permette di memorizzare informazioni alfanumeriche. In C, le stringhe sono degli array di **char** il cui ultimo carattere è il carattere speciale **\0**. Quando a **cout** viene fornito un array di **char** con queste caratteristiche, vengono ordinatamente stampati tutti i caratteri dell'array ad eccezione di **\0**. Un puntatore a **char** viene interpretato come una stringa, pertanto non è possibile, a meno di usare una sintassi particolarmente convoluta, riferirsi ad una stringa tramite un puntatore. Le stringhe del C hanno dei metodi che si trovano nell'header file **string.h** (o **cstring**).

Una stringa può essere inizializzata in due modi. Il primo è quello di usare la sintassi tipica degli array, e quindi riportare ordinatamente ogni carattere fra parentesi graffe; in questo caso, occorre che l'ultimo sia **\0**. Il secondo è quello di riportare semplicemente i caratteri fra doppi apici; il compilatore converte implicitamente tale rappresentazione in lista di caratteri e aggiunge **\0** alla fine. Una stringa particolarmente lunga può essere inizializzata "spezzandola" in più sequenze racchiuse fra doppi apici: il compilatore si incarica di concatenarle automaticamente.

```

char strc[10] = "Hello";
char strm[] = "Up" "Down" "Left" "Right" "Forward" "Backward";
char strl[] = {'W', 'o', 'r', 'l', 'd', '!', '\0'};
char* strp = "Hello, World!"; // should be const char* strp

```

La sintassi del tipo **char* str = "..."** è ammessa perché è un residuo del modo in cui C gestisce le stringhe, ma non è tecnicamente corretta. Infatti, una stringa scritta in questo modo ha implicitamente un **const** davanti, perché indica una stringa costante che viene raggiunta attraverso un puntatore non costante. Infatti, se si cerca

di manipolare tale stringa tramite tale puntatore si ottiene un errore a runtime. Se si dichiara invece una stringa come array di caratteri, è possibile modificarla come fosse un normale array senza effetti collaterali.

```
char* m = "More";
m[2] = 'l';           // Allowed, but...

char d[] = "Down";
d[1] = 'a';           // Allowed
```

Essendo degli array di caratteri (per quanto gestiti in maniera speciale), una stringa si comporta come tale. Ovvero, se la sua dimensione viene fissata ma viene inizializzata con una stringa con meno caratteri di tale dimensione, i caratteri restanti vengono riempiti con il carattere nullo. Se la dimensione non viene specificata, viene dedotta dal compilatore sulla base di come viene inizializzata. Non è possibile inizializzare una stringa se non mentre la si dichiara.

Per inserire caratteri speciali all'interno di una stringa, è possibile usare l'escape character `'\'`. In particolare, alcuni caratteri speciali, come quello di tabulazione o di a capo, hanno delle escape sequence dedicate (`\t` e `\n` rispettivamente, in questo caso). È possibile inserire volutamente il carattere nullo all'interno di una stringa, ma la maggior parte delle funzioni che manipolano stringhe non saranno in grado di notarlo.

Una stringa con prefisso `L` è una stringa di wide chars. Di conseguenza, il suo tipo è `const wchar_t`.

In C++, questa è la forma più "basica" di stringa, e pertanto andrebbe evitata a meno di circostanze particolari. Le stringhe C++ sono degli oggetti veri e propri, definiti come `std::string`. L'header file `string` contiene diversi metodi per manipolarle.

```
#include <string>

std::string s1;
s1 = "Hello";
std::string s2 = "World!";
```

Le stringhe C sono ancora utilizzate come argomenti dalla riga di comando. Infatti, la sintassi standard⁵ della funzione `main` completa è la seguente:

```
int main(int argc, char* argv[])
{
    ...
    return 0;
}
```

`argc` (*argument count*) è una variabile intera e cattura il numero di argomenti passati al programma quando è stato invocato. `argv` (*argument value*) è un array di puntatori, ciascuno facente riferimento ad una stringa, ed a sua volta ciascuna stringa è l'*i*-esimo argomento passato al programma. L'unica eccezione è `argv[0]`, che è invece il nome dell'eseguibile stesso (pertanto, gli argomenti vanno contati a partire da 1).

Gli argomenti in `argv` sono sempre e comunque stringhe. Per interpretarne il contenuto come tipi di dato primitivi diversi (come `int` o `float`) sono possibili due strade:

- Usare le funzioni di basso livello del C, come `atoi` o `atof`;
- Usare gli oggetti `stringstream` dell'header C++ `sstream`.

⁵Alcuni compilatori accettano anche versioni non strettamente conformi a tale standard, ma è comunque best practise aderirvi.

```
var_type = std::atoX(argv[i]);

#import <sstream>
std::stringstream s_name(argv[i]);
type name;
s_name >> name;
```

1.4.3. Struct

Similmente agli array, che sono tipi primitivi, le **struct** sono considerate tipi composti. Di fatto, una struct é un “raggruppamento” di dati anche di tipo diverso, chiamati **campi**. Sono di fatto una forma più “rudimentale” del concetto di classe. Tutti i dati di una struct sono di default pubblici, quindi liberamente modificabili.

Una struct può essere inizializzata allo stesso modo di come viene inizializzato un array, dove ogni elemento i -esimo all’interno delle parentesi graffe viene assegnato alla i -esima variabile contenuta nella **struct**. Una **struct** può anche essere inizializzata parzialmente, ovvero assegnando un valore solamente ai primi n campi.

```
struct name_type {          struct_type struct_name = {field_1, field_2, ..., field_n};
    type_1 name_1;
    type_2 name_2;
    ...
    type_n name_n;
};
```

```
struct Point {
    int x;
    int y;
};

Point A = {5, 2};
```

L’operatore **.** permette di accedere ai dati di una **struct**, specificando il nome del campo a cui ci si riferisce. L’operatore **->** permette di accedere ad un campo di una struct quando ci riferisce ad essa tramite un puntatore e non direttamente (é una abbreviazione di una deferenziazione seguita da un accesso).

struct_name.field

pointer_to_a_struct->field

```
Point P = {5, 2};
Point* Q = &P;

P.x = 10;
Q->y = 8;          // same as (*Q).p = 8

std::cout << Q->x << " " << P.y << std::endl;    // prints 10 8
```

La memoria occupata da una **struct** dipende dalla politica di allocazione della memoria del compilatore. In genere, viene prediletta una allocazione di memoria che ottimizza l’accesso piuttosto che la dimensione. Per tale

motivo, per ottenere la massima efficienza in termini di spazio occupato é preferibile disporre i dati all'interno in ordine decrescente di grandezza, di modo che piú dati possano venire “accorpati” in un'unica `word`.

Due `struct` diverse, anche se hanno gli stessi tipi e sono inizializzate allo stesso modo, sono comunque considerati due tipi distinti. Questo perché una variabile dichiarata come una certa `struct` ha per tipo tale `struct`. Inoltre, anche una `struct` formata da un solo campo, anche se tale campo é un tipo di dato primitivo, é comunque considerata un tipo distinto da quest'ultimo.

```
struct S1 {int a;};
struct S2 {int a;};

S1 x;
S2 y = x;    // NOT Allowed, different types

int z = x;    // NOT Allowed, even if x is just a int
```

Una `struct` non può essere definita ricorsivamente, ovvero non può contenere a sua volta una `struct` dello stesso tipo come campo. Questo perché il nome di un tipo diventa disponibile non solamente dopo essere stato dichiarato, ma dopo che lo si definisce per la prima volta, perché il compilatore non può sapere quanta memoria allocare. É però possibile avere una `struct` che contiene un puntatore ad una `struct` dello stesso tipo, perché la memoria allocata per un puntatore é sempre la stessa, ed il problema non si pone.

```
// NOT allowed, incomplete type
struct Node {
    int value;
    Node Left;
    Node Right;
};

// Allowed
struct Node {
    int value;
    Node* Left;
    Node* Right;
};
```

In generale, il nome di una `struct` che é stata dichiarata ma non definita può essere usato solamente nei casi in cui non é necessario conoscerne la dimensione o uno dei suoi campi.


```

struct List;

// NOT allowed, incomplete type
struct Table {
    int hash;
    List L;
};

// Allowed, but unusable until List is defined
struct Table {
    int hash;
    List* L;
};

void f(List L);           // Allowed
List g(int x, char* S);  // Allowed
List h(double y);        // Allowed
List q(List L);          // Allowed
List* p(List* L);        // Allowed

int main(int argc, char* argv[])
{
    List* L;              // Allowed, only pointers involved
    List LL;              // NOT allowed, incomplete type
    f(*L);                // NOT allowed, size is needed to be returned
    g(5, "Hello");        // NOT allowed, size is needed to be passed
    h(3.14).n = 0;        // NOT allowed, fields are unknown
    List* P = p(L);       // Allowed, only pointers involved

    return 0;
}

```

1.5. Scope e namespace

Prende il nome di **blocco** qualsiasi sezione di codice racchiusa all'interno di due parentesi graffe. Ogni blocco induce uno **scope**, ovvero uno "spazio" entro al quale le variabili possono essere dichiarate. Una variabile dichiarata all'interno di un blocco si dice che é **locale** al blocco.

All'interno di uno stesso scope, le variabili non possono essere definite più di una volta, mentre due variabili possono essere definite uguali in due scope diversi. Più blocchi, e di conseguenza più scope, possono essere contenuti l'uno nell'altro. Le definizioni non si "trasmettono" attraverso gli scope più interni: due variabili con lo stesso nome e lo stesso tipo, se si trovano in due scope diversi (che siano disgiunti o l'uno contenuto nell'altro) sono considerate due entità diverse. Gli argomenti di una funzione sono considerati facenti parte del blocco indotto dalla funzione.

```

{
    int x = 10;

    {
        int x = 5;           // Allowed: different scope
        std::cout << x << std::endl; // Prints 5
    }

    std::cout << x << std::endl; // Prints 10
}

void f(int y)
{
    int x;                  // Allowed: different scope
    int y;                  // NOT allowed
}

```

Un **namespace** permette di raggruppare semanticamente funzioni, variabili, dichiarazioni e tipi, che possono trovarsi anche in file diversi, assegnandovi una etichetta univoca.

Tale etichetta diviene parte del nome dell'entità stessa, e due entità che hanno lo stesso nome ma diverso namespace saranno comunque trattati come distinti (naturalmente, all'interno di uno stesso namespace non possono esistere due entità con lo stesso nome). I confini del namespace sono determinati dal blocco di codice indotto dal namespace: per specificare che con una certa entità del namespace al di fuori dello stesso è necessario utilizzare l'operatore `::`. È possibile riferirsi a tutto ciò che appartiene ad un namespace da dentro il namespace stesso senza dover specificare `::`, perché è sottointeso.

```

namespace name_s                      name_s::entity
{
    ...
}

```

Un namespace particolarmente importante è `std`, quello della libreria standard del C++. Non a caso, diverse funzioni molto usate come `cin` e `cout` appartengono a tale namespace.

```

namespace First
{
    int s;
    int g() {...}
}

namespace Second
{
    int s;           // Allowed, namespace is not the same
}

First::s = 10;
Second::s = 5;

int x = First::s;    // x = 10

```

I namespace permettono la modularizzazione del codice, separandolo in diverse componenti atomiche che dipendono fra di loro. Permettono inoltre di evitare conflitti fra nomi, dato che due entità con lo stesso nome di due namespace diversi potrebbero avere due significati diversi. Infine, permettono di oscurare i dettagli implementativi di una funzione o di una classe, presentando solamente una interfaccia e la sua semantica.

Una entità appartenente ad un namespace può essere dichiarata e definita all'interno del blocco indotto dal namespace stesso, oppure può essere dichiarata all'interno del blocco e (riferendosi usando `::`) definita al di fuori. Non è però possibile dichiarare una entità membro di un namespace al di fuori del blocco da questi indotto. Le regole degli scope sono valide anche per i namespace, pertanto in uno stesso namespace non possono esserci due definizioni uguali.

```
namespace AAA
{
    int f();
}

int AAA::f()    // Allowed
{
    ...
}

int AAA::g()    // NOT allowed
{
    ...
}
```

La keyword `using` permette di introdurre un sinonimo locale per un elemento appartenente ad un namespace diverso da quello corrente. Dall'uso di `using` in poi e per tutta la lunghezza dello scope/namespace, è possibile riferirsi a quella entità omettendo l'operatore `::`. Può anche essere usato per indicare che, dall'uso di `using` in poi e per tutta la lunghezza dello scope, ogni entità facente parte di un certo namespace diventa disponibile nello scope/namespace corrente omettendo `::`.

`using` può semplificare il codice, risparmiando diversi `::` ridondanti, ma può anche rendere il codice più confuso, perché gli elementi del namespace "importato" e gli elementi locali diventano di fatto indistinguibili. `using` può anche essere usato nello scope globale, di fatto stabilendo che lungo tutto il codice gli elementi di tale namespace sono accessibili globalmente omettendo `::`; questa scelta è considerata bad practice, ed è preferibile evitarla. Anche utilizzare `using` all'interno di un header file è considerata bad practice, perché tale scelta si propaga lungo tutto il codice che lo importa. `using` può essere utile nella definizione dei namespace, per importare con più facilità entità da altri namespace.

```
using namespace name_s
{
    ...
}

using name_s::entity
```

```

namespace First
{
    int s;
}

int main()
{
    using First::s;      // Now First::s is just s
    int s = 10;          // NOT allowed
    s = 10;              // Allowed
}

```

I namespace devono per forza essere dichiarati globalmente, pertanto ogni file che importa il file che contiene la sua dichiarazione lo ha disponibile. Inoltre, i namespace possono essere dichiarati più volte, anche in file diversi; quando il codice viene compilato, le diverse occorrenze di uno stesso namespace e le loro componenti vengono unite in una sola.

```

namespace Ex
{
    int x;
}

namespace Ex    // Allowed
{
    int s;
}

int main()
{
    Ex::s = 30;
    Ex::x = 50;

    return 0;
}

```

I namespace possono anche essere usati per “occultare” delle dichiarazioni, di modo che tale namespace sia accessibile soltanto nello scope locale e non al di fuori e di modo che le dichiarazioni in tale namespace non interferiscano con l'esterno. Per fare questo è possibile utilizzare i **namespace anonimi**, che vengono introdotti dichiarando normalmente un namespace ma omettendone il nome. Tali namespace sono inaccessibili agli altri file, nemmeno se importano il file con tale definizione.

```

namespace
{
    int s;
}

int main()
{
    s = 10;    // Allowed
}

```

Ad un namespace può venire assegnato un alias locale per semplificare il codice, riferendosi ad un namespace con un nome più comodo. Tale nome è valido soltanto localmente, non è una ridefinizione, il nome originale rimane intatto.

```
namespace new_name = old_name;
```

Il C++ è retrocompatibile con C, pertanto è possibile importare normalmente librerie C; tali funzionalità non sono legate ad un namespace vero e proprio, ma si trovano nel namespace globale. Spesso le librerie pensate per il linguaggio C possono venire utilizzate nel C++ in maniera nativa incapsulando tali funzionalità in un namespace. La differenza fra le due, ovvero fra le librerie per C importate in C++ e librerie in C++ propriamente dette, sta nel nome dell'header importato: le seconde sono importate specificando il file per intero, estensione inclusa, mentre le seconde vengono importate troncando l'estensione. Nel caso specifico della libreria standard del C, molte delle funzionalità di tale libreria sono incapsulate dalla libreria standard del C++ in header che hanno il medesimo nome ed una 'c' come prefisso.

La libreria standard del C `math.h` contiene alcune funzioni matematiche più elaborate delle operazioni standard, come ad esempio il calcolo della radice quadrata (`sqrt`) o l'arrotondamento per eccesso o per difetto (`floor` e `ceil`). Per importarla in un codice C++ è sufficiente specificare la direttiva `#include <math.h>` e le funzioni da questa fornite sono disponibili senza dover specificare un namespace (non avendolo). In alternativa, la libreria standard del C++ incapsula `math.h` nel namespace `std` (senza modificarne le funzionalità) pertanto è anche possibile accedere alle funzioni di `math.h` mediante la direttiva `#include <cmath>`, e tali funzioni avranno `std` come namespace.

```

#include <math.h>                #include <cmath>
sqrt(16);                       std::sqrt(16);

```

1.6. Typedef, const, Casting

`typedef` permette di associare un alias ad un tipo di dato già esistente. È utile per riferirsi ad un tipo avente un nome molto lungo con un alias più corto. Può essere utile anche per “mascherare” valori veri con nomi di comodo, di modo che da fuori da una classe i dati appaiano con nomi più semplici da comprendere.

```
typedef old_name new_name;
```

```
typedef unsigned long int uli;

uli x = 10;                                // Same as unsigned long int x = 10
```

`const` è un modificatore che, posto davanti alla definizione di una variabile, la rende immutabile, ovvero non è più possibile modificarne il valore in un secondo momento. Permette di creare delle costanti, ovvero valori che devono imprescindibilmente assumere uno ed un solo valore⁶. Se si tenta di aggiungere `const` ad una variabile che non viene inizializzata quando viene dichiarata viene restituito un messaggio di errore.

```
const var_type var_name = value;
```

Il valore di una reference a cui viene aggiunto il modificatore `const` può cambiare se il valore originale viene cambiato, ma non può comunque venire modificato direttamente.

```
const float pi;                          // NOT Allowed
const float pi = 3.14;                   // Allowed

pi = 3.1415;                             // NOT Allowed

g = 1;
const int gamma = g;                     // Allowed

int f = 2;
const int& e = f;
f++;                                     // Allowed, now e = 3 even if constant
e++;                                     // NOT Allowed
```

Rispetto ai puntatori, l'uso del modificatore `const` può portare a conseguenze impreviste. Possono presentarsi tre situazioni, in base a dove viene posta la keyword `const` nella dichiarazione del puntatore:

- Il modificatore `const` si trova prima del tipo di dato del puntatore. In questo senso, il puntatore “protegge” la variabile, impedendo che sia possibile modificarla se si passa dal puntatore. Sia il puntatore, sia l'oggetto in sé se vi si accede direttamente, sono liberamente modificabili. Infatti, la keyword `const` si riferisce comunque sempre e solo al puntatore, anche se il dato a cui si riferisce non è una costante;
- Il modificatore `const` si trova dopo il tipo di dato del puntatore. In questo senso, è il puntatore stesso ad essere una costante, e non è più possibile modificarlo (scollegarlo e collegarlo ad altro, per esempio), ma è possibile modificare il valore dell'oggetto in sé se vi si accede tramite il puntatore;
- Il modificatore `const` si trova sia prima che dopo il tipo di dato del puntatore. Sia il puntatore, sia l'oggetto se vi si accede tramite il puntatore, non sono modificabili.

Assegnare ad un puntatore (non necessariamente con `const`) un tipo di dato che ha il modificatore `const` restituisce un errore in fase di compilazione, perché si sta di fatto negando il “senso” dell'aver dichiarato tale variabile come costante in principio.

⁶ `const` occupa lo stesso spazio che nel C aveva `#define`; infatti, sebbene sia possibile anche in C++ definire costanti in questo modo, è da considerarsi una worst practice, dato che il linguaggio offre uno strumento preposto.

```

int i = 200;

const int* p1 = &i;           // 1st type
*p1 = 100;                    // NOT allowed
p1 = nullptr;                 // Allowed

int* const p2 = &i;           // 2nd type
*p2 = 100;                    // Allowed
p2 = nullptr;                 // Not allowed

const int* const p3 = &i;     // 3rd type
*p3 = 100;                    // NOT allowed
p3 = nullptr;                 // NOT allowed

```

Così come in (quasi) tutti i linguaggi di programmazione tipizzati, in C++ è possibile fare **casting**, ovvero trasformare il tipo di dato di una variabile in un tipo di dato diverso, purché compatibile. Alcuni cast sono **impliciti**, ovvero dove il compilatore opera “dietro le quinte” un cambio di tipo se questo è in grado di intuirlo da solo. Questo è comodo, perché non è necessario specificare istruzioni aggiuntive, ma può essere rischioso perché potrebbe diventare difficile ricostruire a ritroso che tale casting è avvenuto. Il cast C **esplicito** ha invece questa forma:

```
var_type1 = (Type1)var_type2
```

C++, per quanto possa utilizzare i due cast sopra citati, possiede i seguenti cast speciali:

```

var_type1 = static_cast<Type1>(var_type2)
var_type1 = const_cast<Type1>(var_type2)
var_type1 = reinterpret_cast<Type1>(var_type2)
var_type1 = dynamic_cast<Type1>(var_type2)

```

- `static_cast` è sostanzialmente analogo al casting esplicito del C;
- `const_cast` è un cast speciale utile per “de-proteggere” i dati, permettendo di accedere ad un dato costante attraverso un puntatore;
- `reinterpret_cast` è un cast speciale che “forza” un cast anche quando questo porta a conclusioni ambigue, di fatto “reinterpretando” il significato dei singoli byte;
- `dynamic_cast` è un cast speciale che permette di fare downcasting in una gerarchia di classi.

```

int i;
double d;
i = static_cast<int>(d);           // Similar to i = (int)d in C fashion

int* pi;
const int* cpi = &i;
pi = static_cast<int*>(cpi);       // NOT allowed, can't edit i through cpi
pi = const_cast<int*>(cpi);       // Allowed

char* c;
c = reinterpret_cast<char*>(&i);  // Allowed, integer now a char sequence
*(c + 2)                          // Editing i byte by byte

```

1.7. Ciclo di vita delle variabili

Inizializzare una variabile significa assegnarle un valore per la prima volta. Se una variabile non viene inizializzata, potrebbe o potrebbe non venirle essere assegnato un valore di default. Le variabili globali, le variabili membro di un certo namespace oppure le variabili locali dichiarate `static` vengono implicitamente inizializzate con un valore “neutro” che dipende dal tipo di variabile (0 per `int`, 0.0 per `double`, ecc...). Le variabili locali non dichiarate `static` e le variabili allocate dinamicamente non vengono inizializzate di default, ed occorre farlo esplicitamente. I membri degli array e delle strutture possono venire inizializzati oppure no a seconda che l’array o la struttura a cui appartengono è o non è `static`. Una istanziazione di una classe potrebbe (ed è bene che ce l’abbia) avere un costruttore che assegna valori di default agli attributi della classe.

In C++ esistono diversi modi per allocare le variabili. Diversi modi implicano diversa visibilità, ovvero sono accessibili in un qualche modo in un punto piuttosto che un altro del programma. I modi sono quattro:

- Allocazione **globale**;
- Allocazione **automatica**;
- Allocazione **statica**;
- Allocazione **dinamica**;

Una variabile è globale se non appartiene a nessuna funzione o classe. Tale variabile è accessibile da qualsiasi punto dell’unità di compilazione corrente, e se dichiarata con il modificatore `extern` è accessibile anche da qualsiasi altra unità di compilazione che la importa. Esistono all’interno della memoria fintanto che il programma è in esecuzione.

Le variabili dichiarate globalmente appartengono ad un proprio namespace, detto **namespace globale**. È possibile specificare che ci si sta riferendo a delle entità che appartengono al namespace globale mediante `::` senza riportare alcun nome. In genere, questo non è necessario, perché tutto ciò che non ha un namespace associato (se esiste) viene cercato o nel namespace globale o nello scope in cui ci si trova. L’unica situazione in cui `::` permette effettivamente di disambiguare si ha quando ci si vuole riferire ad una entità del namespace globale che ha un conflitto di nomi con una entità del namespace o dello scope in uso. È comunque considerata bad practice riusare gli stessi nomi e tipi per variabili globali e locali, a meno di avere un motivo ragionevole per farlo.


```

int x;

namespace XXX
{
    int x;
}

int main()
{
    int x = 1;        // Allowed
    ::x = 5;          // Global x, not local x
    XXX::x = 10;      // x from XXX, not local x

    std::cout << x << ::x << XXX::x << std::endl;    // Prints 1510
    return 0;
}

```

Definire una variabile globale che deve essere accessibile da ogni singola unità di compilazione del codice è una delle poche situazioni in cui può avere senso avere un file `main.h`.

Una variabile è automatica se viene allocata e deallocata automaticamente nello/dallo stack. Sono le variabili comunemente intese, che si trovano all'interno di una funzione e che esistono solamente fintanto che tale funzione è in esecuzione. Sono (potenzialmente) accessibili solamente dal blocco in cui sono state definite. Naturalmente, le variabili automatiche dichiarate all'interno di `main()` esistono fino alla fine dell'esecuzione del programma.

```

void f(int param)    // Will exist as long as f exists
{
    int i;            // Will exist as long as f exists

    if (i) {
        int k;        // Will exist as long as the if block exists
        ...
    }

    ...
}

int main()
{
    int j;            // Will exist as long as main exists
                    // (Until the program stops)
}

```

Una variabile è statica se è dichiarata con il modificatore `static`. Sebbene la loro visibilità sia ristretta a quella del blocco in cui sono state definite, esisteranno comunque in memoria fino alla fine del programma. Combinano il lifespan di una variabile globale con la visibilità di una variabile dinamica.

Una variabile è dinamica se ne viene richiesto esplicitamente il quantitativo di memoria da allocare e la loro deallocazione. Tali dati non si trovano, come le variabili precedenti, sullo stack, ma bensì sullo heap, pertanto è necessario gestirne l'esistenza in maniera oculata (si rischia di saturare la memoria con dati inutili). I dati dinamici, sebbene possano essere di qualsiasi tipo, sono particolarmente utili per quando è necessario allocare molta memoria, dato che la dimensione dello stack è in genere molto contenuta.

Un dato dinamico viene creato mediante la keyword `new` e distrutto mediante la keyword `delete`.

```
Object* name = new Object;                delete name;
```

`new` restituisce un puntatore all'oggetto dinamico così creato, e tale puntatore è l'unico modo per poter accedere a tale oggetto (il puntatore potrebbe comunque essere memorizzato sullo stack). Questo significa che se tale puntatore, per qualche motivo, perde il riferimento a tale oggetto, questo rimane nello heap senza più possibilità di accedervi, e finché il programma non termina l'area di memoria che questo occupa non può essere sovrascritta, generando un **orfano**. Infatti, a differenza di altri linguaggi di programmazione, in C++ non esiste un **garbage collector**⁷.

```
struct Obj {
    double d;
    int arr[1024];
};

Obj* o = new Obj;    // o is a pointer to a value in heap

o->d = 10.23;

o = new Obj;        // Allowed, but now old values are lost in heap

new Obj;            // Allowed, but memory is allocated for nothing
```

`delete` contrassegna il contenuto dinamico associato al puntatore come scrivibile da parte del sistema operativo. Naturalmente, se si cerca di chiamare `delete` su un puntatore su cui è già stato chiamato si può avere un comportamento indefinito, perché i vecchi valori *potrebbero* essere già stati sovrascritti da altri dati. Pertanto, una best practice è, dopo aver chiamato `delete` riassegnare il puntatore a `nullptr`, perché chiamando `delete` su un puntatore nullo non succede nulla. Cercando di chiamare `delete` su un puntatore che non si riferisce a dei dati dinamici viene restituito un errore a runtime.

```
struct Obj {
    double d;
    int arr[1024];
};

Obj* o = new Obj;

delete o;        // Values in heap related to o are flagged as removable

delete o;        // Allowed, but VERY dangerous
```

Gli array sono spesso allocati dinamicamente, perché in genere il loro contenuto richiede molto spazio. Occorre però prestare attenzione al fatto che la deallocazione del contenuto dinamico va fatta con `delete[]`, che libera ricorsivamente tutto il contenuto che si trova all'interno, altrimenti solamente il contenuto che si trova in prima posizione viene liberato. È anche possibile allocare dinamicamente array multidimensionali usando puntatori a puntatori, anche se a tale livello di complessità diventa molto più ragionevole utilizzare una classe.

⁷È però possibile estendere C++ aggiungendo un garbage collector esterno, come Boehm GC.

```

int size1 = 5, size2 = 3;

int** array = new int*[size1];

for (int i = 0, i < size1, i++)
    array[i] = new int[size2];

array[3][2] = 7;

for (int i = 0, i < size1, i++)
    delete[] array[i];

delete[] array;

```

1.8. Funzioni

In C++, esistono tre modi per passare un parametro ad una funzione. Di base, quando un valore viene passato ad una funzione, il parametro di tale funzione viene inizializzato con il valore passato. Al di là di questo, che è comune a tutti i modi, i modi sono i seguenti:

- **Passaggio per valore**, in cui viene semplicemente creata una copia locale alla funzione del parametro che viene passato, e tale copia non influenza in alcun modo la versione originale del dato nota alla funzione chiamante;
- **Passaggio per puntatore**, in cui viene passato un puntatore ad una risorsa nota alla funzione chiamante. Questo significa che se la funzione chiamata manipola il dato associato al puntatore, tale valore viene modificato anche rispetto alla funzione chiamante. Se nella funzione chiamata viene modificato il puntatore in sé, sia il puntatore originale che l'oggetto a cui si riferisce rimangono comunque intatti;
- **Passaggio per referenza**, in cui viene passata una reference ad un dato noto alla funzione chiamante; se la funzione chiamata lo modifica, tale modifica si ripercuote anche sul dato originale.

Ad eccezione degli array statici, che possono essere passati solo e soltanto tramite puntatore, qualsiasi dato può essere passato in tutti e tre i modi, pertanto scegliere una modalità piuttosto che l'altra dipende (quasi) soltanto da cosa si vuole ottenere. Il passaggio per valore è da preferirsi per quando si ha interesse a non modificare il dato di origine o quando si richiede esplicitamente di ricreare una copia del dato originale, e tale dato è ragionevolmente piccolo.

Il passaggio per puntatore e per referenza sono da preferirsi quando si ha interesse a modificare il dato originale oppure quando non si vuole che tale dato venga modificato, ma passare l'intero dato per valore richiederebbe troppa memoria. In questo secondo caso in particolare, è bene che il puntatore/referenza passato sia dichiarato `const`, di modo che possa essere letto ma non modificato.

Il passaggio tramite puntatore e tramite referenza sono molto simili. Il passaggio tramite puntatore è in genere meno "sicuro" di quello per referenza, perchè il puntatore in questione potrebbe riferirsi ad un dato che non esiste e creare inconsistenze. Pertanto, è preferibile sempre controllare che il puntatore passato ad una funzione non sia `nullptr`.

```

#include <iostream>

void fun1(int j)
{
    j = j / 2;
}

void fun2(int* j)
{
    *j = *j + 3;
    int x = 30;
    j = &x;          // Nothing changes for i
}

void fun3(int& j)
{
    j = j * 2;
    int& x = j;
    x++;             // Something changed for i
}

int main()
{
    int i = 10;
    fun1(i);         // Nothing changes

    int* g = &i;
    fun2(g);         // i is now 13

    int& r = i;
    fun3(r);         // i is now 27

    return 0;
}

```

Una funzione può ritornare dati di qualsiasi tipo, ad eccezione degli array, dei quali è possibile ritornare esclusivamente un puntatore che vi si riferisce.

è considerata bad practise ritornare da una funzione puntatori o reference a dati locali alla funzione stessa. Questo perchè i dati locali ad una funzione vengono rimossi dallo stack una volta che la funzione è stata eseguita, quindi tali puntatori/reference si riferiscono a dati non validi.

Due funzioni che si trovano nello stesso namespace ma che hanno dei parametri diversi (come numero e/o come tipo) sono comunque considerate funzioni diverse. In altre parole, C++ supporta l'**overloading**. Se viene chiamata una funzione che condivide il nome con un'altra funzione, il compilatore è in grado di dedurre (più o meno correttamente) quale sia la "versione" corretta della funzione da chiamare. Naturalmente, due funzioni con la stessa identica signature (stesso namespace, stesso nome, stesso nome, tipo e ordine dei parametri) non sono ammesse, ed il compilatore restituisce un messaggio d'errore.

Una funzione può anche avere dei valori di default opzionali assegnati ai parametri. Se una funzione con dei default sui parametri viene chiamata con un valore per tale parametro, allora tale parametro viene utilizzato normalmente, mentre se non viene specificato allora viene usato quello di default. I parametri di una funzione a cui viene assegnato un valore di default devono necessariamente essere contigui ed essere tutti sulla parte destra.

```
ret_type func_name(type_1 par_1, ..., type_i par_i = def_i, ..., type_n par_n = def_n)
```

```

#include <iostream>

void h(char c, int v = 20)      // Allowed
{
    ...
}

void f(char c = 10, int v = 90) // Allowed
{
    ...
}

void g(char c = 10, int v)      // NOT allowed
{
    ...
}

int main()
{
    f(1, 29);                  // c = 1, v = 29
    f(1);                      // c = 1, v = 90
    f();                      // c = 10, v = 90

    return 0;
}

```

La keyword `inline` permette di dichiarare una funzione come funzione inline. Una funzione inline è una funzione che viene espansa in linea quando viene chiamata, ovvero l'intero codice della funzione inline viene inserito o sostituito nel punto della chiamata di funzione inline. Questa sostituzione viene eseguita dal compilatore C++ in fase di compilazione, non a runtime. Questo è particolarmente utile nel caso in cui il tempo necessario ad eseguire il cambio di contesto sia maggiore del tempo di esecuzione della funzione, e questo si verifica se la funzione è estremamente piccola, e permette così di migliorare le prestazioni.

1.9. Processo di compilazione

Raramente un programma scritto nel linguaggio C++ è costituito da un solo file sorgente che contiene l'intero codice. In genere, questo è costituito da uno o più **file sorgente**, ciascuno contenente una parte del codice. Questo permette sia di suddividere logicamente il codice in più componenti, enfatizzando quindi la sua struttura logica, sia di sfruttare la **compilazione separata**: quando una parte di codice viene modificata, è necessario ricompilare solamente il file che la contiene, non l'intero codice.

Quando la compilazione viene invocata, prima che avvenga la compilazione vera e propria ciascun file viene modificato da una componente specifica del compilatore chiamata **preprocessore**. Questo converte il file di testo originale in un altro file di testo, nel quale sono state però fatte delle specifiche sostituzioni sulla base di **direttive**, contenute nel file stesso. Il risultato dell'operato del preprocessore è un file testuale di codice "puro", dove le direttive sono sostituite dalle rispettive valutazioni. Ciascuno di questi file viene detto **unità di compilazione**. Tale file esiste solo in memoria e viene passato al compilatore, a meno di richiederlo direttamente.

Le direttive sono riconoscibili perché sono precedute dal simbolo `#`. Le direttive più importanti e più utilizzate sono:

- `#define` e `#undef`. Permettono la definizione di **macro** o di **tag**. Una macro è una stringa che, in ogni posizione del codice in cui viene individuata, deve venire sostituita una seconda stringa. Tale sostituzione non viene interpretata semanticamente dal compilatore, pertanto può essere sia una sostituzione tra due stringhe vere e proprie oppure la sostituzione di una stringa con una espressione. Una tag è una etichetta che viene registrata nella memoria del compilatore, da usarsi nelle direttive condizionali di seguito riportate. Macro e tag

sono spesso riportate in maiuscolo per distinguerle dalle variabili vere e proprie, ma non vi sono restrizioni vere e proprie (al di là di quelle che già esistono) sul loro nome;

- `#if`, `#else`, `#elif` e `#endif`. Hanno la stessa funzionalità del costrutto `if-else`, ma operano rispetto al codice e non rispetto alla sua logica. Possono essere usate, in combinazione con i tag, per rendere parti di codice bypassate durante la compilazione. Una loro possibile utilità consiste nel rendere il codice cross-platform, istruendo il compilatore ad operare in modi diversi a seconda della piattaforma su cui il codice viene eseguito;
- `#ifdef` e `#ifndef`. Come i precedenti, ma anziché effettuare una valutazione di espressioni logiche valutano se una certa macro o tag è stata definita oppure no;
- `#include`. Permette di riportare il nome di un file sorgente esterno da includere nel file sorgente attuale, di modo da avere accesso alle variabili e ai metodi in questo definito. Esiste in due forme: `#include "filename"` e `#include <filename>`. Entrambe hanno la stessa funzionalità, l'unica differenza sta nella posizione del filesystem in cui tali file vengono cercati. La prima predilige la ricerca di file usando percorsi assoluti (partendo quindi dalla cartella in esame) mentre la seconda predilige la ricerca di file usando il percorso standard in cui i file delle librerie si trovano (questo dipende da sistema operativo a sistema operativo, su Linux `/usr/include`).

```
#include "File2"
#define PIPPO 1234
#define FUNZ(a) 2 * a + 3

double d = PIPPO + 10
#ifdef PLUTO
int j = 900;
#else
int j = 1000;
#endif

double k = FUNZ(j);

int v1;
double v2;
char v3;

int v1;
double v2;
char v3;

double d = 1234 + 10;
int j = 1000;
double k = 2 * j + 3
```

Il compilatore analizza sintatticamente ciascuna unità di compilazione per verificare che non siano presenti errori di sintassi. Effettua inoltre una parziale analisi semantica, in particolare il **type checking** (ad esempio, valutare che un valore passato ad una funzione sia del tipo specificato nella firma della funzione, oppure che una variabile venga inizializzata con un dato coerente col suo tipo) e l'identificazione di variabili e funzioni esterne, che non possono essere incluse immediatamente ma che devono attendere le fasi successive e devono pertanto venire contrassegnate da dei "placeholder". Il compilatore, aggiunge poi, se necessario delle informazioni di debug aggiuntive utili per la fase di testing.

Il compilatore converte ciascuna unità di compilazione in un **file oggetto**. Tali file non sono portabili, perché il loro contenuto dipende sia dall'architettura su cui il compilatore è stato eseguito, sia dal sistema operativo su cui il compilatore è stato eseguito sia dal compilatore stesso. Tali file di per loro non sono eseguibili, perché potrebbero avere dei riferimenti a variabili o funzioni che sono state dichiarate ma non definite nell'unità di compilazione stessa.

I file oggetto vengono unificati in un solo eseguibile dal **linker**. Questo cerca negli altri file oggetto le variabili e le funzioni che nel file in esame sono state dichiarate ma non definite, sostituendo il "placeholder" con l'indirizzo di memoria della variabile/funzione presa dal file oggetto dove è contenuta. Se in un file oggetto riportato il nome di una funzione/variabile che non ha però una definizione in nessun altro file oggetto, viene restituito il messaggio di errore `Unresolved External Symbol`.

```

// file2.c
extern int x;
int f();
void g() { x = f(); }

// file1.c
int x = 1;
int f() { return 9; }
int main() { return 0; }

```

Il linker, oltre ad unificare i vari file oggetto in un solo eseguibile, introduce del codice di **startup** per renderlo riconoscibile dal sistema operativo come tale. Il linker si occupa inoltre di aggiungere (se necessario) le librerie esterne. Queste, tranne la libreria standard (che viene inclusa sempre in automatica) devono essere specificate manualmente.

La fase di linking termina con successo se ogni variabile/funzione è stata dichiarata in ogni file oggetto in cui compare, se (eventuali) dichiarazioni multiple sono fra loro consistenti, se ogni variabile/funzione usata è stata definita in uno dei file file oggetto che la utilizza e se tale definizione viene fatta esattamente una sola volta.

```

// file2.c
int x = 0;
extern double b;
extern int c;

// file1.c
int x = 1;      // NOT allowed, x is already defined
int b = 1;      // NOT allowed, b was defined double
extern int c;   // Allowed, but pointless

int main()
{
    return 0;
}

```

Sebbene i file sorgente possono avere estensioni a piacere (fintanto che sono file di testo), per convenzione i file sorgente si dividono in due categorie:

- I file con estensione `.cxx` : contengono la definizione vera e propria di funzioni (il loro corpo) e variabili (il loro effettivo valore). Possono essere visti come l'implementazione di una libreria della quale è nota l'interfaccia. Tali file sono quelli che vengono effettivamente compilati.
- I file con estensione `.h` , anche chiamati **file header**: contengono la dichiarazione di funzioni (la loro firma), variabili (il loro tipo) e tipi di dato definiti dall'utente (classi e simili). Possono essere visti come l'interfaccia di una libreria, ovvero riportano solamente *cosa* è necessario implementare ma non l'implementazione in sé e per sé. Tali file non vengono in genere compilati, ma vengono inclusi nei file `.cxx` per rendere loro disponibili le interfacce da implementare.

Per tale motivo, i file sorgente dei codici C++ sono in genere a coppie: un file `.h` che contiene l'interfaccia ed il corrispettivo file `.cpp` che ne implementa le funzionalità. C++ non supporta le **forward declarations**: se nel codice è presente una funzione che non ha una firma (anche se non è nota l'implementazione), viene restituito un errore. Riportare le firme delle funzioni in file header permette di rendere nota al compilatore la firma di una funzione prima che questa venga implementata, di modo che non sia necessario rivedere l'ordine della dichiarazione delle funzioni ad ogni cambiamento.

Sebbene non sia impedito l'usare `#include` per includere un file `.cpp` in un file `.cpp`, questo comportamento viene in genere scoraggiato perché rende i due file non più indipendenti. Se si vuole avere del codice condiviso fra più file, è preferibile che si trovi in un header file.

Può capitare che un header file venga incluso più volte nello stesso file `.cpp`, specialmente quando il progetto è molto grande. Di base questo non è un problema, dato che ciò che accade è che il preprocessore deve eseguire più volte “a vuoto” una stessa sostituzione della direttiva `#include`; sebbene non sia un comportamento problematico, potrebbe comunque far sprecare tempo al preprocessore e rallentare il processo di compilazione. Per prevenirlo è possibile introdurre la cosiddetta **guardia**, che non è altro che una struttura del tipo:

```
#ifndef something_H
#define something_H
...
#endif
```

In questo modo, il preprocessore include `something.h` solamente se non è mai stato finora incluso.

2. Appendice

2.1. Doxygen

Doxygen è uno strumento che permette di generare documentazione del codice C++ in maniera automatica a partire da dei commenti propriamente formattati. Tali commenti è best practise riportarli nei file header in cui sono riportate le firme dei metodi.

Doxygen riconosce un commento speciale tipo perché è un commento multilinea che inizia con un doppio asterisco:

```
/**
 *
 * Comment to be generated goes here...
 *
 */
```

Doxygen formatta la documentazione per mezzo di *direttive*, parole chiave che iniziano con `@`. Una prima direttiva che è bene porre è `@brief`, con cui viene specificata una descrizione sommaria (lunga una sola riga) della funzione e del suo significato. Un commento più descrittivo può essere riportato lasciando una riga vuota.

```
/**
 * @brief brief description goes here...
 *
 * longer description goes here...
 */
```

La direttiva `@param` permette di descrivere un parametro di una funzione; una direttiva `@param` va riportata per ogni parametro della funzione. La direttiva `@return` descrive il valore di ritorno della funzione.

```
/**
 * @param first parameter is this... and does that...
 * @param second parameter is this... and does that...
 *
 * @param nth parameter is this... and does that...
 *
 * @return return value is this... and does that...
 */
```



```
/**  
  @brief Computes the Euclidean distance  
  
  Computes the Euclidean distance between two points  
  
  @param x1 the x-coordinate of the first point  
  @param x2 the x-coordinate of the second point  
  @param y1 the y-coordinate of the first point  
  @param y2 the y-coordinate of the second point  
  
  @return the Euclidean distance  
*/  
  
float euclidean_distance(float x1, float x2, float y1, float y2);
```