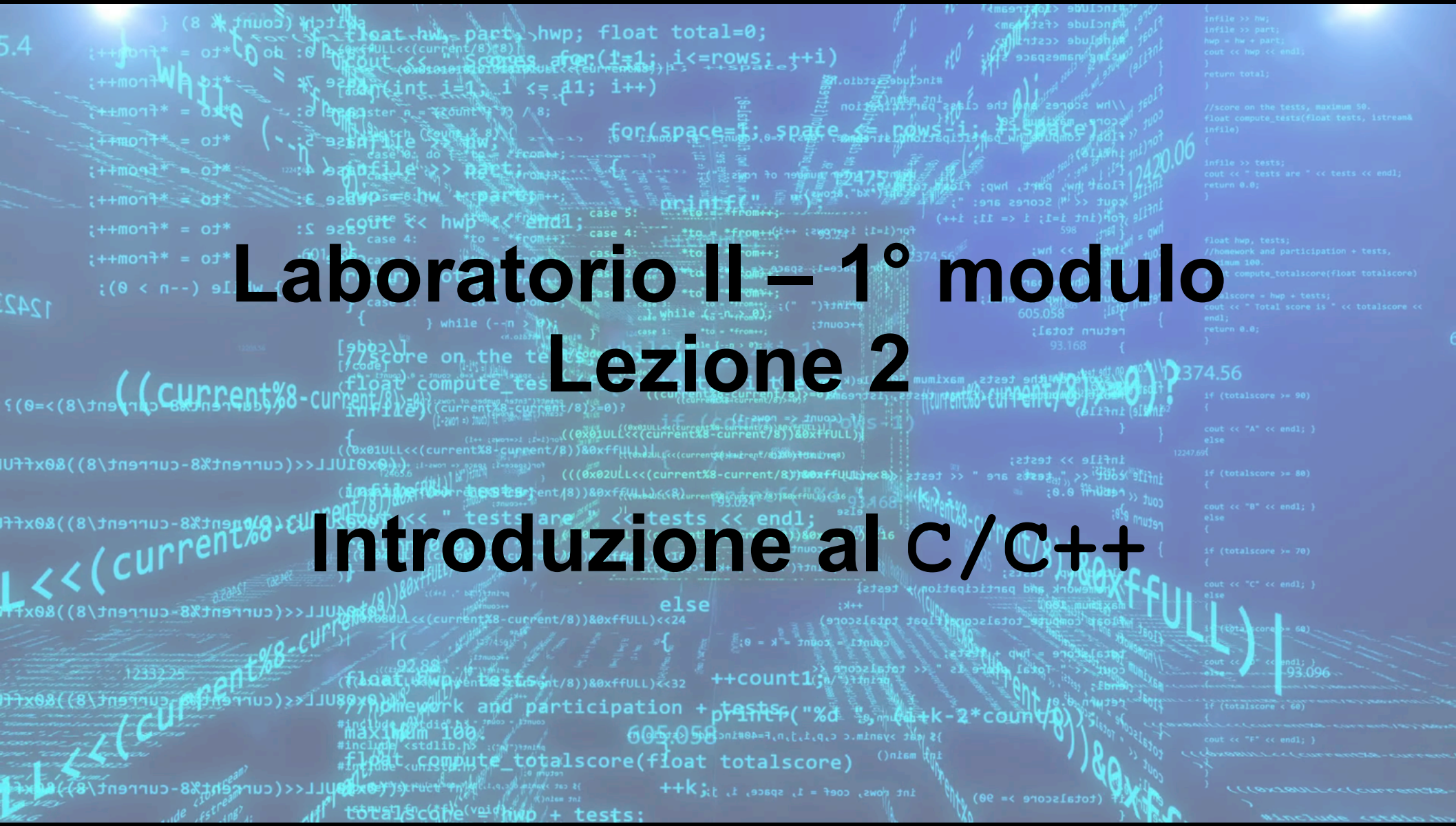


Laboratorio II – 1° modulo
Lezione 2
Introduzione al C/C++

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO BICOCCA

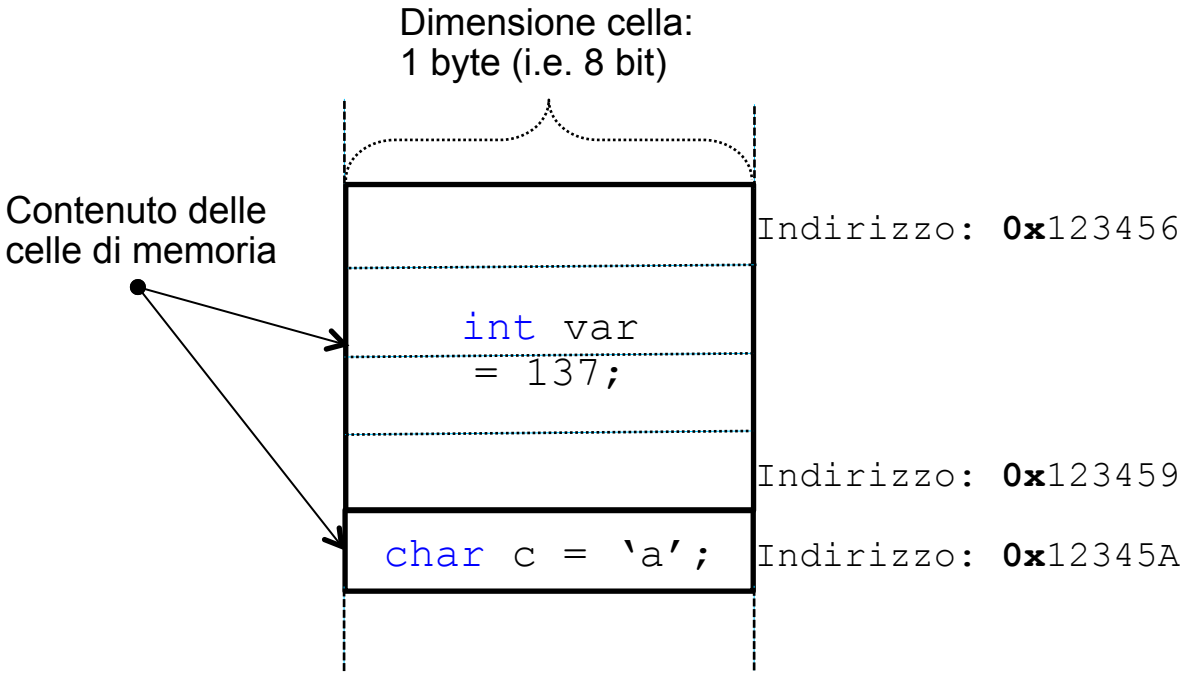
Indice

- Gestione della memoria
  - puntatori e referenze
  - passaggio dei parametri alle funzioni: valore / referenza
  - gestione dinamica della memoria
- Passaggio dei parametri al `main` program
- Suddivisione di un programma in file (`.cpp`, `.cc`, `.h`)
- Esercizi
- Come passare per referenza un array ad una funzione
- *Exception handling*

I puntatori e la gestione della memoria

Rappresentazioni delle variabili nella memoria del calcolatore

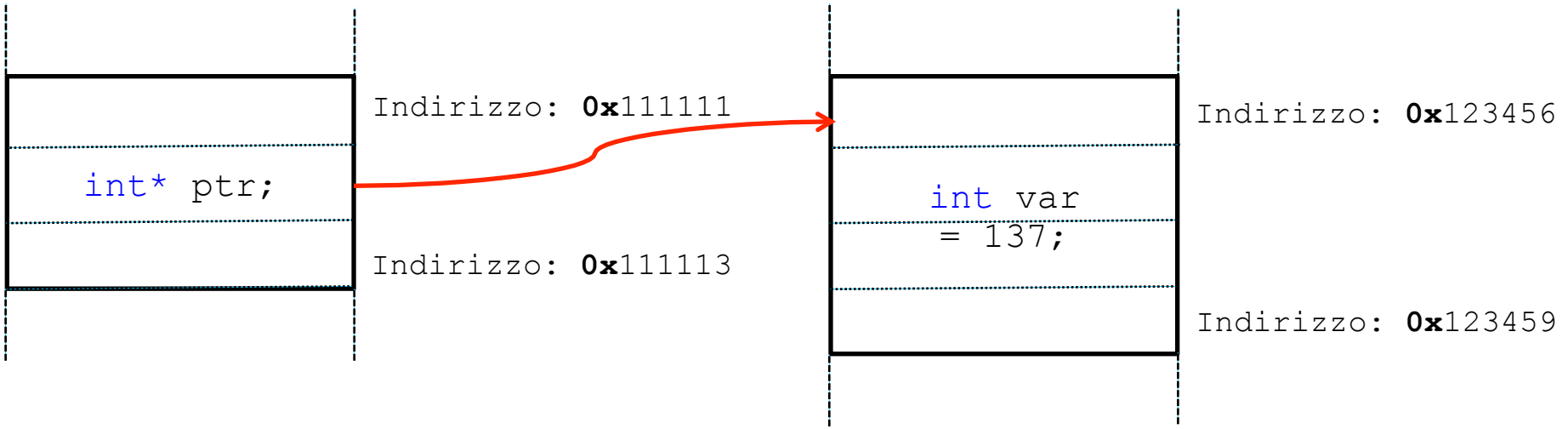
- In un computer tutto è rappresentato mediante numeri
- I numeri sono salvati in celle di memoria (Random Access Memory = RAM)
- Le celle della memoria sono individuate mediante indirizzi



Type	Typical Bit Width	Typical Range
char	1byte	-127 to 127 or 0 to 255
unsigned char	1byte	0 to 255
signed char	1byte	-127 to 127
int	4bytes	-2147483648 to 2147483647
unsigned int	4bytes	0 to 4294967295
signed int	4bytes	-2147483648 to 2147483647
short int	2bytes	-32768 to 32767
unsigned short int	Range	0 to 65,535
signed short int	Range	-32768 to 32767
long int	4bytes	-2,147,483,648 to 2,147,483,647
signed long int	4bytes	same as long int
unsigned long int	4bytes	0 to 4,294,967,295
float	4bytes	+/- 3.4e +/- 38 (~7 digits)
double	8bytes	+/- 1.7e +/- 308 (~15 digits)
long double	8bytes	+/- 1.7e +/- 308 (~15 digits)
wchar_t	2 or 4 bytes	1 wide character

I puntatori

- In `C/C++` è possibile definire anche delle variabili che contengono indirizzi di memoria: **puntatori**
- Sintassi: `type* ptr;`
  - Indica che la variabile `ptr` è di tipo puntatore
  - La variabile `ptr` punta ad una cella di memoria di tipo `type` (e.g. `int`) e quindi il numero a cui fa riferimento è composto da 4 byte ed è da interpretarsi come un intero



Come manipolare i puntatori

- Data una variabile (e.g. `var`) come faccio a sapere il suo indirizzo di memoria?
- Data una variabile puntatore (e.g. `ptr`) come faccio a farmi dare il contenuto della cella di memoria a cui punta?
- **Risposte:** si utilizzano due operatori speciali, **`*`** e **`&`**
  - L'operatore **`&`** ritorna l'**indirizzo** della variabile (i.e. della cella di memoria)
  - L'operatore **`*`** ritorna il **contenuto** della variabile (i.e. della cella di memoria)

```
int var = 137;
int* ptr;
ptr = &var;
std::cout << "Valore puntato da ptr: " << *ptr << std::endl;
```

Ritorna l'indirizzo della cella di memoria di `var`

Ritorna il contenuto della cella puntata da `ptr`

Esempio sull'uso dei puntatori

```
#include <iostream>

int main()
{
  int var = 137;
  std::cout << "var vale: " << var
            << " ed il suo indirizzo e`: " << &var << std::endl;

  int* ptr;
  std::cout << "Indirizzo a cui punta ptr e`: " << ptr << std::endl;

  ptr = &var;
  std::cout << "Ora ptr punta a var: " << ptr
            << " ed il valore a cui punta e`: " << *ptr << std::endl;

  *ptr = 100;
  std::cout << "var ora vale: " << var << std::endl;

  int pippo = *ptr;
  std::cout << "La variabile pippo vale: " << pippo << std::endl;

  (*ptr)++;
  std::cout << "var ora vale: " << var << " e pippo vale: " << pippo << std::endl;

  int vec[] = {2, 20};
  std::cout << "Vec[0] = " << *vec << "; Vec[1] = " << *(vec+1) << std::endl;

  return 0;
}
```

Attenzione: le variabili non sono mai implicitamente inizializzate

```
var vale: 137 ed il suo indirizzo e`: 0x7fff50c8a5b8
Indirizzo a cui punta ptr 0x7fff50c8a670
Ora ptr punta a var: 0x7fff50c8a5b8 ed il valore a cui punta e` 137
var ora vale: 100
La variabile pippo vale: 100
var ora vale: 101 e pippo vale: 100
Vec[0] = 2; Vec[1] = 20
```

Puntatori e array

- Quando si definisce un array, ad esempio

  `int vec[] = {2, 20};`

  `vec` contiene l'indirizzo di memoria del primo elemento dell'array:

  `std::cout << vec << std::endl;`

- Quindi il nome usato per definire l'array (`vec`) è un puntatore
- Attraverso `*vec` leggo il valore del primo elemento dell'array, con `*(vec+1)` leggo il secondo elemento dell'array, etc…

Se stampo `vec` a terminale ottengo un numero esadecimale, corrispondente all'indirizzo di memoria da cui parte l'array `vec`

Questa sintassi è del tutto equivalente alle parentesi `[]` (molto più intuitive, e consigliate):

`*vec` equivale a **`vec[0]`**

`*(vec+i)` equivale a **`vec[i]`**

```
int main()
{
  int vec[] = {2, 20};
  std::cout << "Vec[0] = " << *vec << "; Vec[1] = " << *(vec+1) << std::endl;
  return 0;
}
```

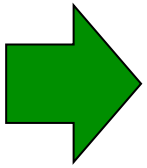
Ancora puntatori e riepilogo

- Anche i puntatori sono variabili e possono cambiare valore
  - Un puntatore si può creare senza assegnargli un valore
  - Il valore del puntatore è l'indirizzo di memoria della variabile alla quale punta

```
double pi_greco = 3.1415;
double* ptr;
ptr = &pi_greco;
std::cout << "Valore puntato: " << *ptr << std::endl;
double nepero = 2.7183;
ptr = &nepero;
std::cout << "Valore puntato: " << *ptr << std::endl;
```

Riepiloghiamo la sintassi ed il significato:

```
int var = 137;
int* ptr;
ptr = &var;
int new_var = *ptr;
```



Creazione variabile `int`
Creazione variabile puntatore a `int`
Assegnazione a `ptr` dell'indirizzo di `var`
Contenuto della cella puntata da `ptr`

Le referenze (i.e. alias)

- Le **referenze** sono degli **alias** per i nomi delle variabili. La variabile o la sua referenza sono la stessa cosa

```
double pi_greco = 3.1415;

double& ref = pi_greco;
std::cout << "ref e` un alias di pi_greco: "
          << ref << std::endl;

pi_greco = 3.141592;
std::cout << "ref e` un alias di pi_greco: "
          << ref << std::endl;
```

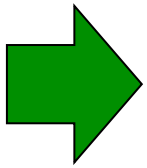
Cosa ottengo se eseguo questo codice?

```
std::cout << &pi_greco << std::endl;
std::cout << &ref << std::endl;
```

- Una referenza si crea a partire da una variabile esistente
- Particolarmente utile per passare variabili a/da funzioni

Riepiloghiamo la sintassi ed il significato:

```
int var = 137;
int* ptr;
ptr = &var;
int new_var = *ptr;
int& ref = var;
```



Creazione variabile `int`
Creazione variabile puntatore a `int`
Indirizzo di memoria di `var`
Contenuto della cella puntata da `ptr`
Creazione di un alias di `var`

Il passaggio di argomenti alle funzioni

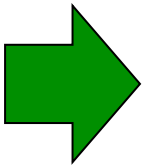
- Quello che abbiamo visto fino ad ora può essere applicato anche al passaggio di argomenti alle funzioni

```
int raddoppia(int input)
{
  return input * 2;
}
```

```
void raddoppiaPointer(int* input)
{
  *input = *input * 2;
}
```

```
void raddoppiaReference(int& input)
{
  input = input * 2;
}
```

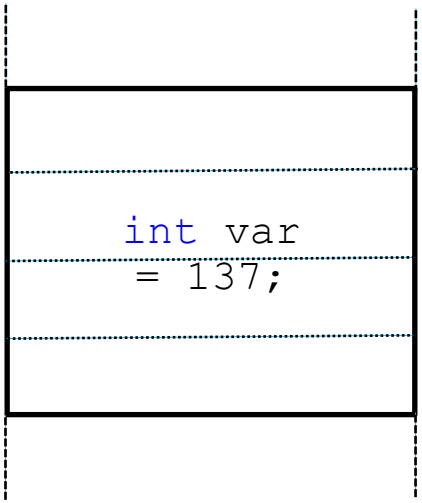
```
int var = 4;

raddoppia(var);
raddoppiaPointer(&var);
raddoppiaReference(var);
```



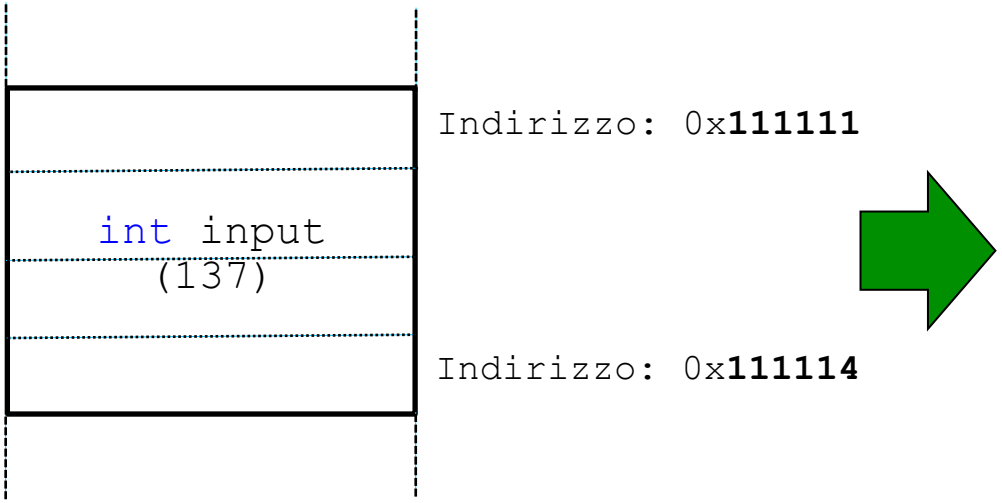
Come varia `var`?

`var` rimane = 4, la funzione restituisce 8
`var` diventa = 8
`var` diventa = 8

Passaggio per valore

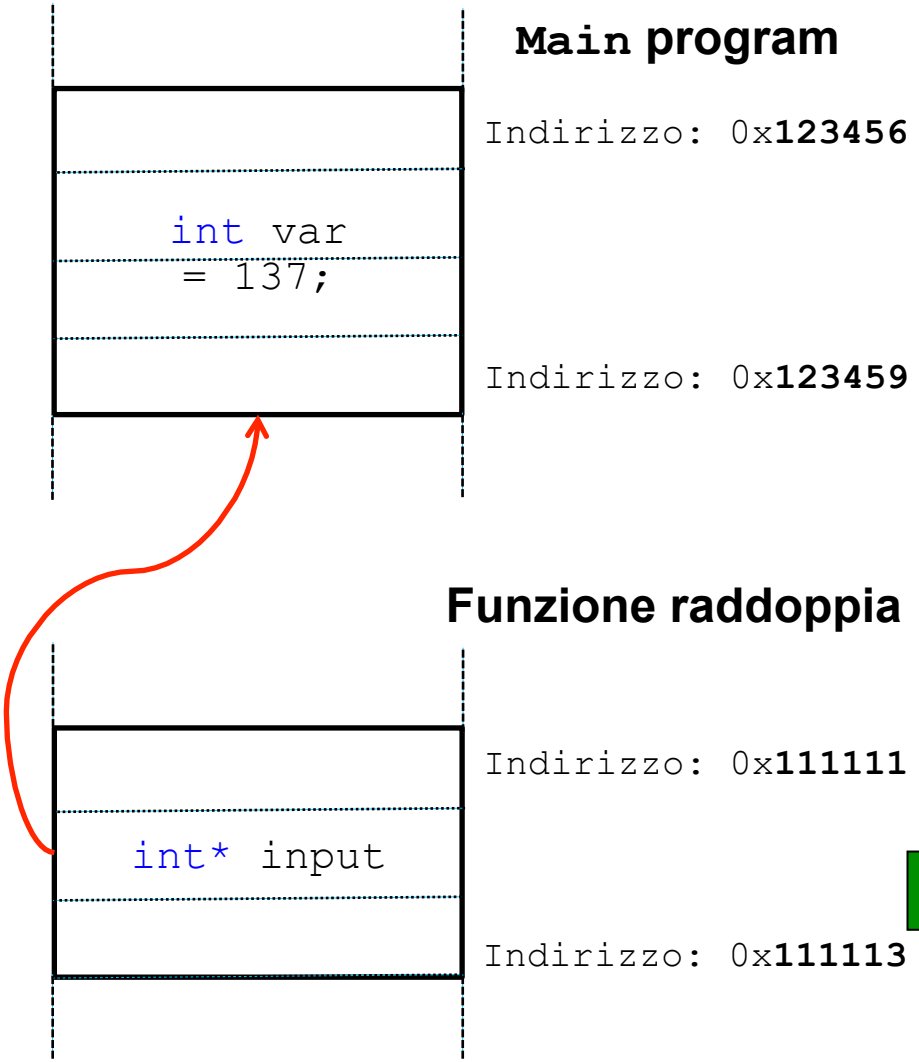



```
int raddoppia(int input)
{
  return input * 2;
}

int main ()
{
  int var = 137;
  std::cout << raddoppia(var);
  return 0;
}
```



Restituisce il **valore** del risultato al `main` mediante un tipo `int` con l'istruzione `return input * 2;`

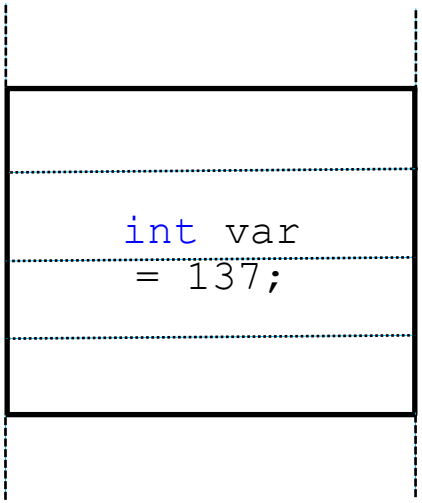
Passaggio per puntatore




```
void raddoppiaPointer(int* input)
{
  *input = *input * 2;
}

int main ()
{
  int var = 137;
  raddoppiaPointer(&var);
  std::cout << var;
  return 0;
}
```

Restituisce il risultato al `main` mediante la stessa variabile `input` che è passata per **puntatore**

Passaggio per referenza



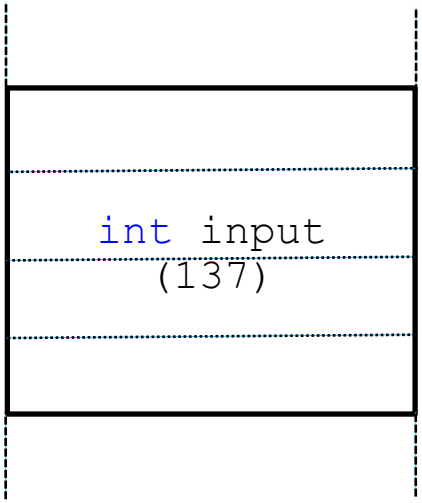
Main program

Indirizzo: 0x**123456**

Indirizzo: 0x**123459**

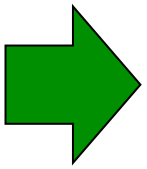
```
void raddoppiaReference(int& input)
{
  input = input * 2;
}

int main ()
{
  double var = 137;
  raddoppiaReference(var);
  std::cout << var;
  return 0;
}
```

Funzione raddoppia



Indirizzo: 0x**123456**

Indirizzo: 0x**123459**



Restituisce il risultato al `main` mediante la stessa variabile `input` che è passata per **referenza**

Gestione dinamica della memoria

Problema: voglio poter creare un vettore delegando la creazione ad una funzione. Come faccio a creare il vettore nella funzione e passare la struttura all'esterno?

Risposta: devo gestire la memoria in maniera dinamica, mi devo preoccupare di riservare le celle di memoria (istruzione **new**) e anche della loro cancellazione/liberazione (istruzione **delete**)

```
int* creaVettore(int dim)
{
  int array[dim];
  return array;
}
```

Modo errato

```
int* creaVettore(int dim)
{
  int* array = new int[dim];
  return array;
}
...
int* vec = creaVettore(4);
...
delete[] vec;
...
```

Modo corretto

Gestione dinamica della memoria

```
int* creaVettore(int dim)
{
  int array[dim];
  return array;
}
```

```
int* creaVettore(int dim)
{
  int* array = new int[dim];
  return array;
}
...
int* vec = creaVettore(4);
...
delete[] vec;
…
```

Modo errato

- Tutte le variabili “statiche” create nella funzione vivono solo nella funzione. Si dice che vanno “out of scope” dopo che la funzione è terminata
- Non c’è modo, facendo uso della memoria “statica”, di creare un vettore in una funzione e di passarlo all’esterno

Modo corretto

- L’istruzione `new` alloca una struttura nell’area di memoria dinamica e ne **restituisce il puntatore**
- Il tipo di struttura è specificato alla destra di `new`
- Nell’esempio: `new` crea `dim` celle di tipo `int` (4 byte x `dim`) e **restituisce** il **puntatore alla prima cella**

Gestione dinamica della memoria

```
#include <iostream>

int* creaVettore (int dim)
{
  int* array = new int[dim];
  return array;
}

int main()
{
  int dim = 0;
  std::cout << "Inserisci la dimensione del vettore: ";
  std::cin >> dim;

  if (dim < 0)
  {
    std::cout << "Numero negativo" << std::endl;
    return -1;
  }

  // Alloca dinamicamente un vettore di dim celle
  int* vec = creaVettore(dim);

  // Riempi il vettore
  for (int i = 0; i < dim; ++i)
    {
      vec[i] = i+1;
    }

  // Stampa gli elementi del vettore
  for (int i = 0; i < dim; ++i)
    {
      std::cout << "Contenuto della cella " << i << " : " << vec[i] << std::endl;
    }

  delete[] vec;

  return 0;
}
```

N.B.: l'operatore **new** **restituisce** sempre il **puntatore** alla struttura dati creata

Dopo `new` e` buona norma controllare che l'operazione sia andata a buon fine, e.g.:

```
int* array = new (std::nothrow) int[dim];
if (array == nullptr)
  "l'allocazine non ha funzionato"
else
  "tutto ok, prosegui"
...
```

Oppure mediante le istruzioni per individuare eccezioni:

```
int* array;
  try
    {
      array = new int[dim];
    }
  catch (const std::bad_alloc& e)
    {
      "l'allocazine non ha funzionato"
      std::cout << e.what() << std::endl;
      ...
    }
```

N.B.: `nullptr` introdotto dal **C++11** in poi, altrimenti usare `NULL` tramite `#include <stddef.h>`

Gestione dinamica della memoria

- Gli operatori `new` e `delete` si possono usare non solo per definire degli array allocati dinamicamente, ma anche semplici variabili
- In questo caso la sintassi è la seguente:

```
double* pointer = new double(1.5);
std::cout << *pointer << std::endl;
delete pointer;
```

Valore a cui viene inizializzata la cella di memoria puntata da `pointer`

Lo spazio di memoria occupato dalla variabile `double` viene liberato (in questo caso non si usano le parentesi `[]` perché `pointer` non punta ad un array)

E` capitato, o capiterà, a tutti di aver problemi di *memory leak* nei propri programmi. La ragione è che il `C++` non ha un modo di de-allocare la memoria in maniera automatica (altri linguaggi, come per esempio `Python`, invece si). Il meccanismo di de-allocazione automatica della memoria si chiama ***Garbage Collector***: appena una zona di memoria riservata dal programma non è più referenziata viene automaticamente resa libera. Perché il `C++` non implementa un meccanismo di *garbage collection*? Beh, perché il meccanismo ha un prezzo sia in termini di memoria sia in termini di tempo

Esempi di uso scorretto della memoria dinamica

Cosa c'è di sbagliato in queste linee di codice?

```
int anArray[10];
int* num;
int* vec = new int[10];
num = anArray;
vec = num;
delete[] vec;
```

```
double* myArray;
if (nElem > 0)
  myArray = new double[nElem];
...
delete[] myArray;
```

Messaggio di errore in fase di esecuzione:

```
malloc: *** error for object 0x7ffeea6445f0: pointer being
freed was not allocated
*** set a breakpoint in malloc_error_break to debug
Abort trap: 6
```

E in queste linee di codice?

```
double* myArray = new double[10];
...
if (nElem > 0)
  myArray = new double[nElem];
...
delete[] myArray;
```

Esempi di uso scorretto della memoria dinamica

(A)

```
int myFunction (int* inArray, int dim)
{
  int sumEven = 0;
  int myArray[dim];
  unsigned int indx = 0;
  for (unsigned int i = 0; i < 10; i++)
  {
    if (inArray[i]%2 == 0)
    {
      myArray[indx] = inArray[i];
      indx++;
    }
  }
  for (unsigned int i = 0; i < indx; i++)
    sumEven += myArray[i];
  return sumEven;
}
```

(B)

```
int myFunction (int* inArray, int dim)
{
  int sumEven = 0;
  int* myArray = new int[dim];
  unsigned int indx = 0;
  for (unsigned int i = 0; i < 10; i++)
  {
    if (inArray[i]%2 == 0)
    {
      myArray[indx] = inArray[i];
      indx++;
    }
  }
  for (unsigned int i = 0; i < indx; i++)
    sumEven += myArray[i];
  return sumEven;
}
```

Cosa succede alla fine dell'esecuzione delle funzioni?

Passaggio dei parametri al `main` program

Passaggio di argomenti da terminale (`argc` e `argv`)

Obiettivo: vogliamo che il programma riceva e utilizzi degli argomenti (numeri, stringhe di caratteri...) che vengono passati da terminale in fase di esecuzione

Come funziona?

- Definisco il `main` con due parametri:
  - `int argc`: "argument counter" (numero degli argomenti)
  - `char** argv`: "argument vector" (array contenente gli argomenti)

- I nomi sono convenzioni, possono anche essere diversi
- Gli argomenti sono poi passati da terminale in fase di esecuzione:

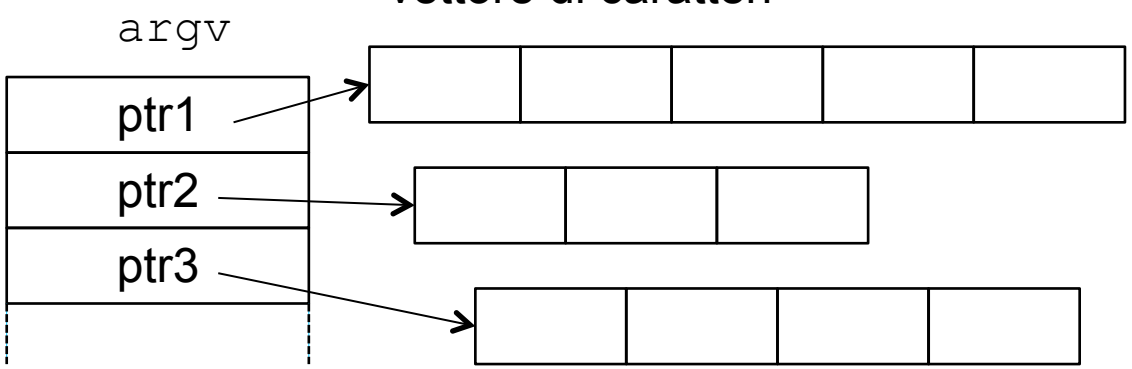
```
./test 10 20 3000 ciao
```

Passaggio di argomenti da terminale (argc e argv)

```
#include <iostream>

int main (int argc, char** argv)
{

  std::cout << "Ho " << argc << " argomenti" << std::endl;

  for (int i = 0; i < argc; i++)
    {
      std::cout << "argv[" << i << "]: " << argv[i] << std::endl;
    }

  return 0;
}
```

Ciascun elemento di `argv` e` un vettore di caratteri

```
 ./test 10 20 3000 ciao
Ho 5 argomenti
argv[0]: ./test
argv[1]: 10
argv[2]: 20
argv[3]: 3000
argv[4]: ciao
```



Suddivisione di un programma in file (`.cpp`, `.cc`, `.h`)

Divisione in diversi file

Per evitare di avere programmi troppo lunghi e per suddividere il codice in unità logiche separate (facilitando cosi di lo sviluppo condiviso del codice), le funzioni sono impacchettate in **librerie**

```
#ifndef myLib_h
#define myLib_h

double raddoppia (double input);

#endif
```

myLib.h

Contiene le definizioni di variabili e funzioni (i.e. i prototipi)

Le istruzioni `#ifndef`, `#define`, `#endif` sono direttive al preprocessore e servono per evitare di duplicare le definizioni se il file viene incluso più volte

```
#include "myLib.h"

double raddoppia (double input)
{
  return input * 2.;
}
```

myLib.cc

Contiene l'implementazione delle funzioni

Conosce il prototipo da `myLib.h` attraverso l'istruzione `#include`

Uso nel programma principale

- I prototipi delle librerie vengono inclusi mediante la direttiva al preprocessore `#include "nomeLib.h"`

```
#include <iostream>
#include "myLib.h"
int main ()
{
  double valore_iniziale = 4;
  double valore_finale = raddoppia(valore_iniziale);

  std::cout << "Raddoppia: " << valore_iniziale << " x 2 = "
            << valore_finale << std::endl;

  return 0;
}
```

- La sintassi è nota dall'inclusione di `myLib.h`
- Le librerie ed il programma principale vengono compilati e "linkati" insieme formando un unico codice eseguibile:

```
c++ -o testLib testLib.cpp myLib.cc
```

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO BICOCCA

Esercizi

- **Esercizio 1**: Scrivere un programma che assegni il valore di una variabile ad un'altra utilizzando un puntatore. Stampare inoltre a terminale i valori e gli indirizzi di ogni variabile prima e dopo l'assegnazione
- **Esercizio 2**: Dichiarare un puntatore e poi cercare di assegnargli direttamente un valore numerico. Cosa succede? Perché?
- **Esercizio 3:** Utilizzare `new` e `delete` per creare e distruggere una variabile `double` ed un array di `double`

Esercizi

- **Esercizio 4:** Realizzare una funzione che risolve un'equazione di secondo grado: $ax^2 + bx + c = 0$. La funzione deve rendere disponibile il risultato al programma che la chiama. Il prototipo della funzione deve essere:

```
bool solve2ndDegree(double* par, double* x);
```

  - La funzione deve restituire una variabile `bool` (`true/false`) a seconda che esistano o meno soluzioni reali dell'equazione
  - La funzione riceve in input due puntatori a `double`:

`double* par` serve per passare l'array dei coefficienti

`double* x` è l'indirizzo di un array in cui salvare le soluzioni dell'equazione

Esercizi

- **Esercizio 5:** Rifare l'esercizio su media/varianza realizzando un'unica funzione che le calcoli entrambe (fare uso di puntatori/ referenze)
- **Esercizio 6:** Scrivere una funzione che, dato un array di n interi casuali, lo ordini dal più grande al più piccolo (suggerimento: create un array specificando voi alcuni numeri a caso per testare che l'ordinamento funzioni). Il prototipo della funzione deve essere:

```
void SortArray(double* myArray, int dim);
```

- **Esercizio 7:** Riscrivere la `creaVettore(...)` senza fare uso dell'istruzione `return` (il passaggio degli argomenti deve essere leggermente modificato)

Come passare per referenza un array ad una funzione

```
int arr[] = {1, 2, 3}; // Definisce un array di 3 elementi di tipo int

int* ptr = arr; // Definisce un puntatore ad int

int (&arr_ref)[3] = arr; // Definisce una referenza all'array
```

- Quindi per passare `arr` per referenza ad una funzione si può scrivere:

```
void funzione(int(&var)[3], ...)
{
  ...
  var[0] = 100;
  ...
}
```

Exception handling ("it's easier to ask for forgiveness than permission")

```
#include <iostream>

bool testThrow (bool var)
{
  if (var != false)
    throw "Houston, we have a problem ... ";
  return var;
}

int main (int argc, char** argv)
{
  bool output;
  bool input = true;
  try
    {
      output = testThrow(input);
    }
  catch (const char* msg)
    {
      std::cout << "Exception : " << msg
                << std::endl;
      return 1;
    }
  std::cout << "Houston, we are all " << output << "k" << std::endl;
  return 0;
}
```

Il linguaggio di programmazione C++ mette a disposizione del programmatore un sistema di messaggistica per la gestione delle eccezioni, cioè per la gestione delle situazioni inaspettate
Ecco qui un esempio ...

Esercizio: Riscrivere il programma per la risoluzione dell'equazione di secondo grado usando il seguente prototipo: `void solve2ndDegree(double* par, double* x);`
e usando `throw / try&catch` per gestire il caso di determinante negativo