Tipi fondamentali, puntatori e riferimenti

Anna Corazza

aa 2023/24

Dove studiare

- Str'13, capitoli 6 e 7
- Str'14, capitolo 8

Str'13 Bjarne Stroustrup, The C++ Programming Language (4th edition), 2013 `https://www.stroustrup.com/4th.html`

Str'14 Bjarne Stroustrup, Programming: Principles and Practice using C++ (2nd edition), 2014 `https://www.stroustrup.com/programming.html`

Tipi di dato in C++

built-in
- **bool**
- **char**
- **int**, long int, long long int, ...
- float, **double**, long double

user-defined
- enum
- classes
- tipi introdotti dalle librerie standard

- Per i tipi char, integer e float esistono diverse versioni con lunghezze diverse.
- Per problemi “normali” possiamo usare quelli in bold e considerare il resto come variazioni per casi particolari.

Tipi, variabili e aritmetica

- I tipi possono essere mescolati nelle espressioni: il C++ fa scelte ragionevoli.
- Possiamo controllare la dimensione con `sizeof`.
- Tuttavia la dimensione può dipendere dall'implementazione ed è **super importante** che il nostro programma sia portabile.
- Questo è vero **sempre**: non posso rischiare che non funzioni più con una nuova versione del mio compilatore!
- La ragione per prevedere tipi di dimensione diversa è quella di permettere allo sviluppatore di sfruttare l'hardware al meglio:
- . . . ma questo nuoce alla portabilità e quindi va sfruttato solo quando **davvero** necessario
- Di sicuro non per quello che facciamo in questo corso, in cui invece dobbiamo dare priorità alla portabilità

Inizializzazioni

- Quattro forme diverse:
  1. graffe (list initialization): `int a1 {15} ;`
  2. uguale + graffe: `int a2={15};`
  3. uguale: `int a3=15;`
  4. tonde: `int a4(15);`
- La prima è da preferire: controlla che eventuali conversioni di tipo non perdano informazione.
- In mancanza di inizializzazione, viene assegnato un valore di default: molto più leggibile e meno prono a errori farlo esplicitamente!
- Naturalmente non è detto che per inizializzare basti un solo valore: ad esempio, vettori:

```
int a[] {2,3,4}
```

Il tipo booleano

- Astrattamente: può assumere solo due valori: `true` e `false`.
- In realtà, corrispondono a 0 e ogni cosa diversa da 0 (1 in stampa).
- Nelle espressioni, i booleani vengono convertiti in interi e i conti vengono eseguiti coi numeri interi.
- Se il risultato è 0, viene restituito `false`, per ogni altro valore `true`.
- Addirittura un puntatore può venir convertito implicitamente in booleano: se il puntatore non è nullo, corrisponde a `true`, altrimenti (`nullptr`) a `false`.

I tipi carattere

- Sappiamo che esistono molti insiemi di caratteri (latini vs ideogrammi cinesi, tanto per fare un esempio) e codifiche.
- Di consieguenza non esiste solo `char`, ma diversi tipi che possono venir incontro a diverse esigenze: con o senza segno, abbastanza grandi da reggere unicode, etc.
- In condizioni standard, basta `char` (8 bit in quasi tutte le implementazioni).
- Se (ma non in questo corso) decidete di usare gli altri, attenzione perché possono creare errori subdoli.
- Letterali: singolo carattere tra apici semplici ('a','3',...)
- Vengono convertiti nel codice ASCII, ma è meglio (per leggibilità e per evitare errori) usare la notazione con gli apici.
- Alcuni caratteri speciali usano una notazione con il '\'; ad esempio: '\n', '\t', '\\', '\?', '\' ', '\"'.

I tipi intero

- Anche qui diversi tipi:
  - con o senza segno (`unsigned`)
  - diverse dimensioni (`short int`, `int`, `long int`, `long long int`)
- Usare `unsigned` per guadagnare un bit non ha senso.
- Gli `int` normali hanno sempre segno.
- I letterali sono ovviamente tutti i numeri interi, in notazione decimale, ottale (iniziano per 0: 02, 0123) o esadecimale (iniziano per 0x: 0x0, 0x2, 0x3f).
- Ottali e esadecimali di solito si utilizzano per esprimere pattern di bit.
- Il tipo di ogni letterale è deciso dal suo suffisso, se c'è (ad esempio: u o U per usigned, l o L for long, ll o LL for long long) e dal tipo di lunghezza minima che ne contiene il valore.

Tipi a virgola mobile (floating point)

- `double` è il default
- Sono letterali validi: 1.23, .23, -2.3, 0.23, 1., 1.0, 1.2e10, 1.23e-15 (niente spazi attorno alla e)
- Suffisso f se voglio che sia un `float` (2.0f)
- Suffisso L per `long double`.

Tipo `void`

- Non possono esistere oggetti di tipo `void`.
- Si usa solo in due casi:
  1. per indicare che una funzione non restituisce nulla;
  2. per indicare il tipo di un puntatore ad un oggetto di tipo sconosciuto.

Costanti

`const` e `constexpr`

`const` : “Prometto di non cambiare questo valore” e il compilatore controlla che sia proprio così.

`constexpr` : “Da valutare a tempo di compilazione”.

- Possono essere `constexpr` anche funzioni, ma solo se molto semplici (solo un’istruzione di return)
- Distinzione sottile, che per il momento potete non considerare

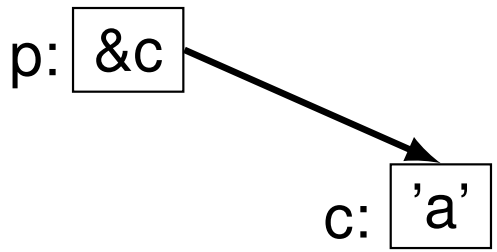
Puntatori e riferimenti

- Posso accedere ad una variabile
  - usando il nome
  - dal suo indirizzo di memoria, tenendo conto del tipo della variabile
- puntatori e riferimenti servono esattamente a questo, in due modi leggermente diversi

Puntatori

- Supponiamo di avere una variabile `nomeVariabile` di tipo `T`
- Il tipo `T*` è un puntatore ad una variabile di tipo `T`: può memorizzare l'indirizzo di una variabile di tipo `T`
- Ad esempio:

```
char c = 'a';
char* p = &c;
```

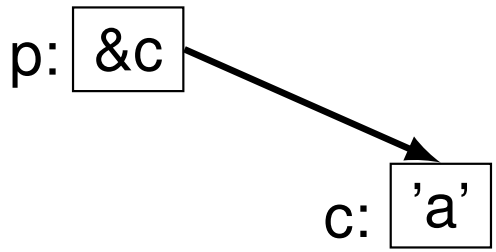


- `c` è una variabile di tipo char a cui viene assegnato il valore del letterale `'a'`
- `p` è una variabile di tipo puntatore a `char` a cui viene assegnato l'indirizzo di memoria in cui si trova `c`

Puntatori continua

- Continuiamo con l'esempio di prima:

```
char c = 'a';
char* p = &c;
char c2 = *p;
```



- `c2` assume il valore puntato da `p`, nel senso che `c2` assume il valore memorizzato all'indirizzo `p`
- quindi: la memoria viene letta sapendo il tipo della variabile, altrimenti sarebbe impossibile
- L'oggetto puntato da `p` è `c`, il cui valore è `'a'`
- in conclusione: `c2` assume il valore del letterale `'a'`

Aritmetica dei puntatori

- Sui puntatori posso eseguire **operazioni aritmetiche**.
- La loro implementazione si basa proprio sui meccanismi di indirizzamento dell'hardware.
- La maggior parte dei dispositivi arriva a indirizzare il **byte**
- Quindi il più piccolo oggetto che può venir allocato e indirizzato indipendentemente è il `char`, che corrisponde ad un byte
- `bool` occupa almeno tanta memoria quanto un `char`
- Ottimo se ho bisogno di implementare applicazioni che scendano a quel livello di dettaglio (ad esempio, un sistema operativo)
- Se invece voglio fare una buona applicazione portabile, meglio non usare queste operazioni di basso livello.

Altri esempi

- Abbiamo visto che per trasformare un qualsiasi tipo `T` nel corrispondente **puntatore a** `T` dobbiamo aggiungere al tipo il suffisso `*`
- Esempi:

```
int* pi;        // pi: un puntatore ad
    intero
char** ppc;     // ppc: un puntatore a
    puntato a carattere
int* ap[15];    // ap: un vettore di 15
    puntatori a int
```

Altri esempi

Complichiamo un po'

- Abbiamo visto che per trasformare un qualsiasi tipo `T` nel corrispondente **puntatore a** `T` dobbiamo aggiungere al tipo il suffisso `*`
- Esempi con funzioni:

```
int(*fp)(char*); // fp: un puntatore a una
    funzione
                 // che prende in ingresso un
                    puntatore
                 // a carattere e restituisce un
                    intero
int* f(char*)    // f: un puntatore a funzione che
                 // prende in ingresso
                // un puntatore a carattere e
                    restituisce un intero
```

Puntatore a `void`

`void*`

- Se dichiariamo una variabile di tipo `void*`, le possiamo assegnare un puntatore ad un qualsiasi tipo di oggetto.
- Possiamo considerarlo un **puntatore ad un oggetto di tipo sconosciuto**
- **Però** non può essere né un puntatore a funzione né un puntatore a un membro di una classe (inclusi i membri funzione o metodi)
- Se ho due variabili di tipo `void*`, posso
  - assegnare il valore dell'una all'altra
  - confrontarle (sia eguaglianza che diseguaglianza)
  - posso convertirle **esplicitamente** ad un altro tipo
- Qualsiasi altra operazione può essere **pericolosa** e quindi va evitata: dà **errore** a tempo di compilazione
- Per usare un `void*` dobbiamo convertirlo esplicitamente ad un puntatore di un dato tipo

Puntatore a `void`

Esempi d'uso

```
void f(int* pi){
  void* pv = pi; // ok: converto implicitamente a
                 // puntatore a intero
  *pv; // errore: non posso accedere al valore
     puntato da void*
       // si dice <<dereferenziare>>
  ++pv; // errore: non posso incrementare il
     puntatore a void
       // non conosco la dimensione dell'oggetto
          puntato!
  int* pi2 = static_cast<int*>(pv);
       // questo lo posso fare: cast esplicito
  double* pd1 = pv; // errore
  double* pd2 = pi; // errore
  double* pd3 = static_cast<double*>(pv); //
     pericoloso
}
```

Cast esplicito

`static_cast`

- In genere, usare un puntatore ad un tipo `T1` per puntare ad un oggetto di tipo `T2` è pericoloso
- Pensiamo ad esempio che la dimensione di un oggetto può dipendere dall'implementazione . . .
- Cerchiamo quindi di usare questo operatore il meno possibile

A cosa serve?

`void*`

- Il puntatore `void*` si usa per operazioni a basso livello sulla memoria
- In questi casi, gli usi più diffusi di `void*` sono:
  - voglio passare un parametro ad una funzione senza fare ipotesi sul tipo dell'oggetto puntato
  - la funzione deve tornare un puntatore ma senza fare ipotesi sul tipo dell'oggetto puntato
- Se l'operazione è a più alto livello, meglio utilizzare soluzioni basate su un progetto orientato agli oggetti

nullptr

- Letterale che rappresenta il **puntatore nullo**, ovvero il puntatore che non punta a nessun oggetto
- Può venir assegnato a qualsiasi tipo di puntatore, ma non agli altri tipi built-in:

```
int* pi = nullptr;
double* pd = nullptr;
int i = nullptr; // errore: i non e' un
    puntatore!
```

- Un unico `nullptr` per qualsiasi tipo di puntatore

`nullptr` nell'antichità

- Nessun oggetto può venir allocato all'indirizzo 0 (ovvero il pattern con tutti i bit a zero), quindi una volta si usava l'intero 0 al posto del puntatore nullo
- Addirittura si definiva una macro NULL per rappresentare il puntatore null
- Tuttavia
  - la definizione di NULL dipende dall'implementazione (ad esempio, può essere 0 o 0L)
  - la definizione usata in C (`(void*)0`) è illegale in C++
- Conclusione: usate `nullptr`!

Array

- Dato un tipo `T`, `T[size]` indica un vettore di `size` elementi di tipo `T`
- L'indice va da `0` a `size-1`
- Esempi:

```
float v[3];
char* a[32];
```

- Due modi di accedere agli elementi del vettore:
  - tramite []
  - tramite puntatori (antico)

Array: accesso agli elementi

- La struttura dati “vettore” non conserva la dimensione in memoria
- Quindi deve essere lo sviluppatore a mantenere un comportamento consistente

```
void f(){
  int aa[10];

  aa[6] = 9;
  int x = aa[99]; // comport. indefinito
}
```

- Quando si accede ad elementi del vettore fuori dai limiti, cosa succede è indefinito e quindi **pericoloso**
- Negli array built-in, la dimensione dell’array deve essere un’espressione costante: per usare dimensioni variabili, occorre usare **vector** della libreria standard
- Gli array multidimensionali sono rappresentati come array di array

Limitazioni degli array built-in

- Si tratta di una struttura inerentemente di basso livello, da usarsi essenzialmente per costruire strutture di più alto livello, quali le strutture **vector** e **array** della libreria standard.
  - Non è possibile assegnare un array ad un altro array.
  - Come conseguenza, non è possibile passare un array ad una funzione per valore.
  - Il nome di un array viene implicitamente convertito ad un puntatore al suo primo elemento in molti contesti (poi vediamo meglio)
- Uno degli array più utilizzati è l'array di char terminato dal char 0: una stringa in stile C: conservata per compatibilità con librerie già esisitenti

Inizializzazione degli array

Lista di valori

- Un array può venir inizializzato con una lista di valori:

```
int v1[] = {1,2,3,4};
char v2[] = {'a', 'b', 'c', 0}
```

- Non esiste un'operazione di copia tra array.
- Di conseguenza, **non** è possibile inizializzare un array usandone un altro:

```
int v3[4] = v1; // errore
int v3 = v1; // errore
```

- Se un array viene inizializzato senza specificare la dimensione, ma con una lista di inizializzazione, la dimensione viene calcolata dal **numero di elementi** della lista.

Inizializzazione degli array

Lunghezza della lista diversa dalla dimensione dell'array

- Se il numero di valori nella lista di inizializzazione è **minore** della dimensione dell'array, la lista viene completata con valori nulli.

```
int v4[8] = {1,2,3,4};
```

è equivalente a:

```
int v4[] = {1,2,3,4,0,0,0,0};
```

- Se tuttavia, oltre alla lista di inizializzazione viene specificata anche la dimensione, il numero di elementi della lista deve essere $\leq$ della dimensione. Altrimenti si ottiene un **errore**.

```
char v5[2] = {'a', 'b', 0} // errore
char v6[3] = {'a', 'b', 0} // OK
```

Letterali stringa

- Un vettore di caratteri può venir inizializzato con un letterale stringa. Esempio: `"Sono una stringa"`.
- Un letterale stringa contiene un carattere in più di quelli che appartengono alla stringa: il carattere di terminazione `'\0'` corrispondente a 0.

```
sizeof("Bohr") == 5;
```

- Il tipo di un letterale stringa è:
  - array di caratteri costanti (`const char`)
  - quindi "Bohr" è un `const char[5]`

Tipi di istruzione non più utilizzate

```
void f(){
  char* p="Plato"; // errore da C++11 in poi
  p[4]='e';       // errore: assegnamento ad una
      costante
}
```

- I letterali stringa sono costanti, quindi **immutabili**.
- Se vogliamo usarla come inizializzazione e poi modificarla, dobbiamo usare l'array di caratteri (non costante):

```
void f(){
  char p[]="Plato"; // p diventa un array di 5
      caratteri
  p[4]='e';       // che posso modificare
}
```

Stringhe restituite da funzioni

- I letterali stringa sono allocati staticamente, quindi possono essere restituiti da funzioni.

```
const char* error_message(int i){
  // ...
  return "range error";
}
```

Ottimizzazioni

- Il codice viene ottimizzato, quindi in alcuni casi **può** succedere che due letterali stringa identici non vengano duplicati.
- Questo significa che non possiamo ipotizzare con certezza cosa succede.

```
const char* p="Heraclitus";
const char* q="Heraclitus";

void g(){
  if(p==q) cout << "one!\n";
}
```

- NB: L'espressione `p==q` confronta gli indirizzi, cioè i valori dei puntatori e non degli oggetti puntati.

Stringa vuota e caratteri non grafici

- La **lista vuota** è `""`, ha tipo `const char[1]` e contiene il solo carattere '\0'.
- Per rappresentare i caratteri non grafici all'interno di una stringa possiamo utilizzare il \.

```
cout << "beep at end of message\a\n";
```

- Un problema possono essere le stringhe contenenti il carattere nullo
  - Sono perfettamente legali.
  - La maggior parte dei programmi considererà solo la parte prima del primo carattere nullo: `Jens\000Munk` verrà considerato come "Jens".

Stringhe su più linee

- Il carattere di newline non può essere incluso in una stringa: una stringa non può stare su più righe. Devo invece usare `'\n'`
- Se una stringa è troppo lunga, posso tuttavia spezzarla:

```
char alpha[] = "abcdef"
               "ghijkl";
```

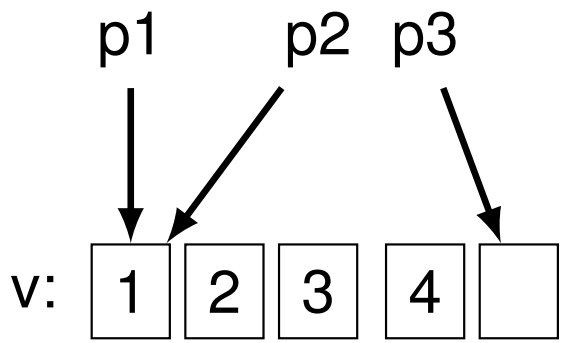
è del tutto equivalente a

```
char alpha[] = "abcdefghijkl";
```

Array e puntatori

- Legame stretto tra array e puntatori: il nome di un array può venir utilizzato come puntatore al suo primo elemento.

```
int v[] = {1,2,3,4};
int* p1 = v; // conversione implicita:
             // puntatore al primo elemento
int* p2 = &v[0]; // stessa cosa, ma esplicita
int* p3 = v+4; // puntatore all'elemento
               // dopo l'ultimo
```



Puntare fuori dell'array

- Puntare ad un elemento immediatamente successivo alla fine dell'array non dà errore, purché non si legga o scriva.
- Puntare a elementi prima o dopo questo dà risultato indefinito, e quindi non va fatto: è un **errore non segnalato**.
- In generale, è una cattiva idea **foriera di problemi** quella di convertire implicitamente un array in puntatore: tanto per cominciare si perde l'informazione sulla dimensione dell'array.

Navigazione degli array

```
void fi(char v[]){
  for(int i=0; v[i]!=0; i++)
    use(v[i]);

void gi(char v[]){
  for(char* p=v; p!=0; p++)
    use(*p);
```

- - La prima è la classica visita di un array in cui ho messo una sentinella se non conosco a priori la lunghezza dell'array.
  - La seconda risulta molto meno leggibile.
- Non c'è nessuna ragione per cui una delle due dovrebbe essere più efficiente dell'altra.
- Un compilatore moderno genera normalmente lo stesso codice per entrambe.
- La prima è preferibile.

Array multidimensionali

- Gli array multidimensionali sono rappresentati come **array di array**
- Esempio 3x5:

```
int ma[3][5];

void init_ma(){
  for(int i=0; i<3; i++)
    for(int i=0; j<5; j++)
      ma[i][j] =10*i+j;

void print_ma(){
  for(int i=0; i<3; i++)
    for(int i=0; j<5; j++)
      cout << ma[i][j] << '\t';
    count << '\n';
```

- NB: come per gli array ad una sola dimensione, le dimensioni non sono memorizzate in alcun modo nella struttura dati array.

Array come argomento di funzioni

- Un array non può venir passato ad una funzione per valore, ma con un puntatore al suo primo elemento.

```
void comp(double arg[10]){
  for(int i=0; i < 10; i++)
  arg[i]+=99;
}
void f(){
  double a1[10];
  double a2[5];
  double a3[100];
  comp(a1);
  comp(a2); // disastro!
  comp(a3); // usa solo i primi 10
      elementi di a3
}
```

- Vengono modificati gli elementi del vettore e non di una sua copia.

Riferimenti

- Un riferimento (reference) può essere visto come un nome alternativo per un oggetto, un alias.
- **Analogamente** ai puntatori:
  - è un alias per un oggetto
  - è implementato per conservare l'**indirizzo** di un oggetto
  - non richiede maggiori risorse computazionali
- **Diversamente** dai puntatori, il riferimento:
  - la sintassi è la stessa che avrei col nome dell'oggetto
  - si riferisce sempre all'oggetto con cui è stata inizializzata
  - non esiste un "riferimento null" da controllare: ogni riferimento si riferisce ad un oggetto

```cpp
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
  int x = 10;

  // ref diventa un alias di x
  int& ref = x;

  // Il valore di x viene cambiato!
  ref = 20;
  cout << "x = " << x << '\n';

  // Se cambio il valore di x, cambia anche
     quello di ref 30
  x = 30;
  cout << "ref = " << ref << '\n';

  return 0;
}
```

Cosa ci si guadagna?

- Tra i vantaggi dei puntatori c'è quello di poter passare ad esempio ad una funzione una grande quantità di dati a basso costo.
- Però un puntatore ha una sintassi un po' pesante . . .
- . . . e può cambiare valore nel tempo.
- Inoltre bisogna sempre gestire la possibilità che il puntatore non stia puntando a nulla (`nullptr`).
- Coi riferimenti non ho questi problemi.