Corso “Programmazione 1”
Capitolo 04: Riferimenti e Puntatori

Docente: Marco Roveri - marco.roveri@unitn.it
Esercitatori: Stefano Berlato - stefano.berlato-1@unitn.it
Andrea Mazzullo - andrea.mazzullo@unitn.it
Giovanna Varni - giovanna.varni@unitn.it
Matteo Franzil - matteo.franzil@unitn.it

C.D.L.: Informatica (INF)
A.A.: 2023-2024
Luogo: DISI, Università di Trento
URL: https://bit.ly/2VgfYwJ

Ultimo aggiornamento: 1 ottobre 2023

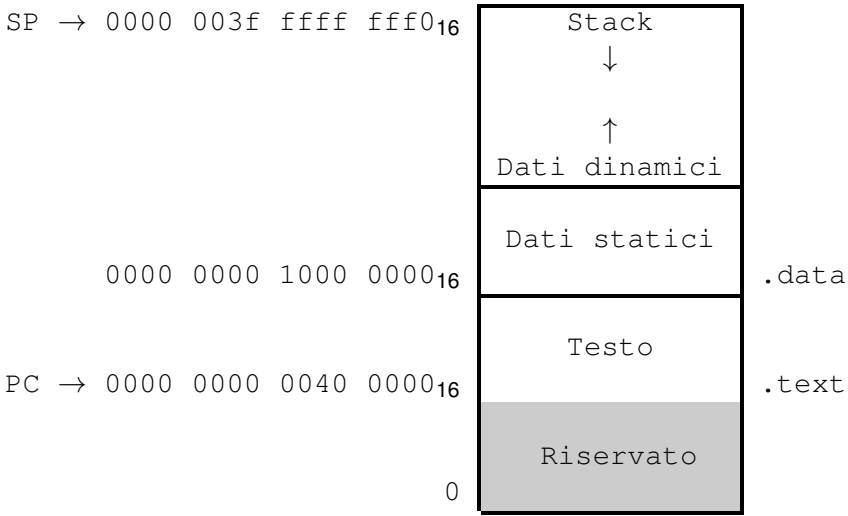
Terms of Use and Copyright

The material (text, figures) in these slides is authored mostly by Roberto Sebastiani, with contributions by Marco Roveri, Alessandro Armando, Enrico Giunchiglia e Sabrina Recla.

I Tipi Derivati

- Dai tipi fondamentali, attraverso vari meccanismi, si possono derivare tipi più complessi
- I principali costrutti per costruire tipi derivati sono:
  - i riferimenti
  - i puntatori
  - gli array
  - le strutture
  - le unioni
  - le classi

Struttura della memoria di un programma

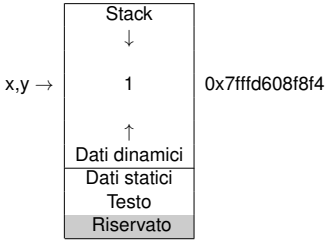


Il Tipo “Riferimento a”

- I meccanismo dei riferimenti (reference) consente di dare nomi multipli a una variabile (o a un’espressione dotata di indirizzo)
  - Un riferimento è un sinonimo dell’espressione a cui fa riferimento
    $\Longrightarrow$ modificando l’una, si modifica anche l’altra (“aliasing”)
  - Un riferimento è un’espressione dotata di indirizzo
- Sintassi: `tipo & id = exp;`
  dove `exp` è un’espressione dotata di indirizzo

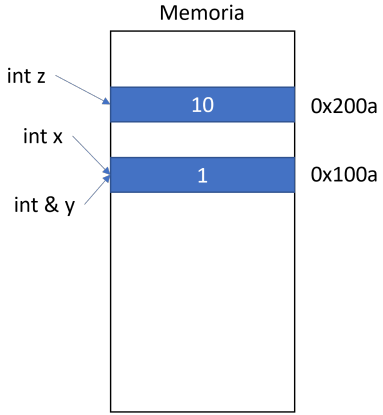
Esempio:

```
int x=1;
int &y=x; // y e' di tipo reference,
          //  e' sinonimo di x
y = 6;    // viene modificato anche x!
```

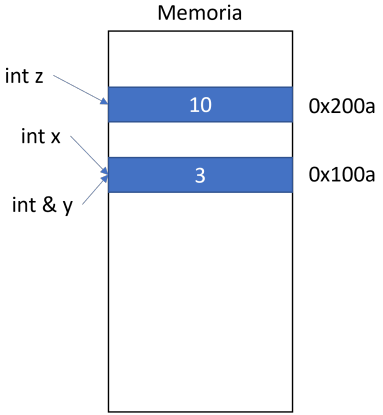


Il Tipo “Riferimento a” (cont.)

```
int x=1;
int &y = x;
int z = 10;
y = 3
```



Prima di y = 3



Dopo y = 3

Vincoli sull'uso dei Riferimenti

- Nelle dichiarazioni di reference, l'inizializzazione è obbligatoria!
  ```
  int &y; // errore!
  ```
- Non è possibile ridefinire una variabile di tipo riferimento precedentemente definita:
  ```
  double x1,x2;
  double &y=x1;    // ok
  double &y=x2;    // errore! gia' definita!
  ```
- Non è (più) possibile definire un riferimento a
  - un'espressione non dotata di indirizzo,
  - o a un espressione dotata di indirizzo ma di tipo diverso.

  ```
  float &y=10.2;    // Errore
  double d=3.1;     // Ok
  int &z=d;         // Errore
  ```
- Esempio di uso di references:
  { RIF_PUNT/reference.cc }

L'Operatore address-of "&"

- L'operatore & ("address-of") ritorna l'indirizzo (l-value) dell'espressione a cui è applicato
- Può essere applicato solo a espressioni dotate di indirizzo!
- È differente dall'uso di "&" nella definizione di riferimenti!

Esempio

```
int l = 10;
cout <<  &l << endl;      // stampa l'indirizzo di l
cout <<  &(l*5) << endl; // errore!
int n = 10;
int& r = n; // r e' alias di n, ``punta'' stessa area di memoria
cout << "&n = " << &n << ", &r = " << &r << endl;
```

- Esempio di uso di address-of:
  { RIF_PUNT/address_1.cc }
- Riferimenti e address-of:
  { RIF_PUNT/rifVsAddressof.cc }

Il Tipo “Puntatore a...”

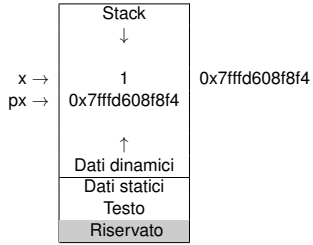
- Un puntatore contiene l’indirizzo di un altro oggetto
  - l’r-value di un puntatore è un indirizzo
- Definizione di un puntatore:
  - Sintassi: `tipo *id_or_init`
  - Esempio: `int *px; //px puntatore a un intero`
  - È sempre necessario indicare il tipo di oggetto a cui punta
- Un puntatore a tipo `T` può contenere solo indirizzi di oggetti di tipo `T`
- Ad una variabile puntatore viene associata una spazio di memoria atto a contenere un indirizzo di memoria,
  - ...ma non viene riservato spazio di memoria per l’oggetto puntato!
- Lo spazio allocato a una variabile di tipo puntatore è sempre uguale, indipendentemente dal tipo dell’oggetto puntato
  - `sizeof(int *) == sizeof(long double *) == sizeof(char *) == sizeof(T *)` per ogni tipo (base o derivato) `T`

L'Operatore di Dereference "*"

- Per accedere all'oggetto puntato da una variabile puntatore occorre applicare l'operatore di dereference *
- Se `px` punta a `x`, `*px` è un sinonimo temporaneo di `x` $\Longrightarrow$ modificando `*px` modifico `x`, e vice versa
- `*px` è un'espressione dotata di indirizzo

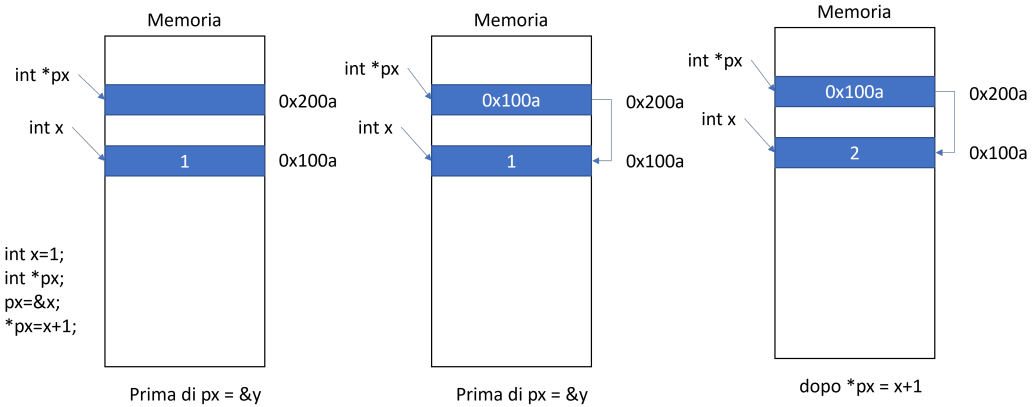
Esempio

```
int *px; // px variabile puntatore a tipo int
px=&x;   // accede alla variabile puntatore
*px=x+1; // accede alla cella di memoria puntata
         // dalla variabile puntatore
```



- L'esempio di cui sopra:
  { `RIF_PUNT/pointer.cc` }

L'Operatore di Dereference "*" (cont.)



Assegnazioni tra Puntatori

- Assegnando a un puntatore `q` il valore di un altro puntatore `p`, `q` punterà allo stesso oggetto puntato da `p`
  - `*p`, `*q` e l'oggetto puntato da loro sono temporaneamente sinonimi

```
int i, j;
int *p, *q;
p = &i;    // p=indirizzo di i, *p sinonimo di i
q = &j;    // q=indirizzo di j, *q sinonimo di j
*q = *p;   // equivale a j=i
q = p;     // equivale a q=indirizzo di i
```

- L'esempio di cui sopra espanso:
  { `RIF_PUNT/pointer1.cc` }
- L'esempio di cui sopra espanso (2):
  { `RIF_PUNT/pointer2.cc` }

Esempi su puntatori e riferimenti

- Esempio: riferimento ad un oggetto puntato da un puntatore: il riferimento “segue” il puntatore?: { `RIF_PUNT/rif_deref.cc` }

Puntatori a `void` (cenni)

- In alcuni casi è utile avere una variabile puntatore che possa puntare ad entità di tipo diverso;
- Tale variabile viene dichiarata di tipo "puntatore a **`void`**" cioè a tipo non specificato

```
int i; int *pi=&i;
char c; char *pc=&c;
void *tp;
tp = pi;              // punta a int
*(int*)tp=3;
tp = pc;              // punta a char
*(char*)tp='C';
```

- Esempio di cui sopra:
  { RIF_PUNT/punt_a_void.cc }

Puntatori a costante (cenni)

- Definizione
  - Sintassi: **const** `tipo *id_or_init;`
  - Esempio: **const int** `*pc1 = &c1;`
- Intuizione: non permettono di modificare l'oggetto puntato tramite dereference del puntatore stesso
- Nota: non rendono l'oggetto puntato una costante

```
const int c1 = 3; int c2 = 5;
const int *pc1 = &c1;  // ok
const int *pc2 = &c2;  // ok
pc2 = pc1; // ok
pc1 = &c2; // ok
*pc1 = 2;  // errore
c2 = 2;    // ok
```

- Esempio di cui sopra:
  { `RIF_PUNT/punt_a_cost.cc` }

Costanti puntatore (cenni)

- Definizione
  - Sintassi: `tipo *const id=exp;`
  - Esempio: `int *const pa = &a;`
- Intuizione: non permettono di puntare ad un altro oggetto
- L'oggetto puntato può essere modificato tramite dereference del puntatore stesso

```
int a, b;
int *const pa = &a;
*pa = 3;   // ok
pa = &b    // errore: pa e' costante
```

- Esempio di cui sopra:
  { RIF_PUNT/const_punt.cc }

Costanti puntatore a costante (cenni)

- Definizione
  - Sintassi: `const tipo *const id=exp;`
  - Esempio: `const int *const a = &c;`
- Intuizione:
  - non permettono di puntare ad un altro oggetto
  - non permettono di modificare l'oggetto puntato tramite dereference del puntatore stesso
- L'oggetto puntato non può essere modificato tramite dereference del puntatore stesso, non si può cambiare l'oggetto puntato.

```
const int b = 2;
const int c = 3;
const int *const a = &c;
a = &b; // errore
*a= 2;   // errore
c = 5;    // errore
```

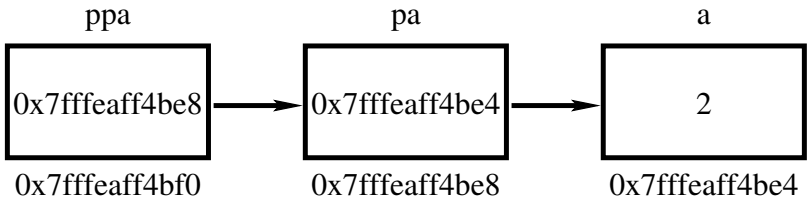
- Esempio di cui sopra:
  { RIF_PUNT/const_punt_const.cc }

Puntatori a puntatori

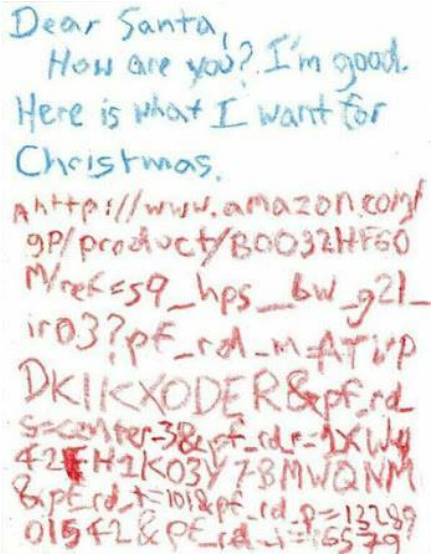
- Una variabile puntatore è una variabile con un tipo (similmente a qualunque altra variabile), per cui è possibile definire puntatori a tali variabili.
- Il suo indirizzo è un puntatore ad un puntatore.
- Esempi:
  - `int **p; //puntatore a puntatore ad intero`
  - `char **c //puntatore a puntatore a carattere`

Puntatori a puntatori (II)

```
int main () {
   int a, *pa, ** ppa;
   a = 2; pa = &a; ppa = &pa;
   cout << "Ind. di a = " << &a;
   cout << " valore di a = " << a << endl;
   cout << "Ind. di pa = " << &pa;
   cout << " valore di pa = " <<  pa << endl;
   cout << "Ind. di ppa = " << &ppa;
   cout << " valore di ppa = " << ppa << endl;
 }
```



Utilizzo pratico di puntatori

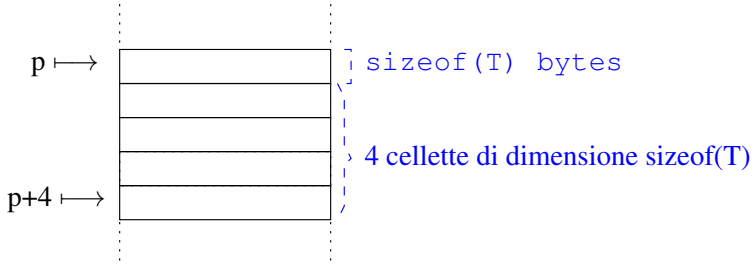


Aritmetica di Puntatori ed Indirizzi

Gli indirizzi e i puntatori hanno un'aritmetica:
se `p` è di tipo `T*` e `i` è un intero, allora:

- `p+i` è di tipo `T*` ed è l'indirizzo di un oggetto di tipo `T` che si trova in memoria dopo `i` posizioni di dimensione **`sizeof`**`(T)`
- analogo discorso vale per `p++, ++p, p--, --p, p+=i`, ecc.

$\Longrightarrow$ `i` viene implicitamente moltiplicato per **`sizeof`**`(T)`

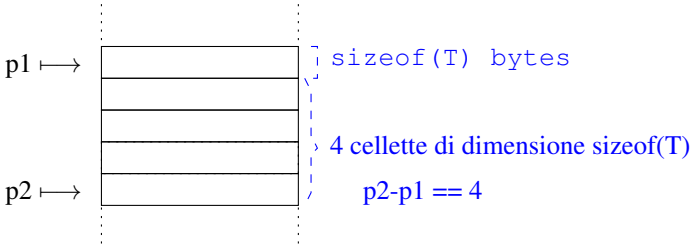


Aritmetica di Puntatori ed Indirizzi II

se `p1, p2` sono di tipo `T*`, allora:

- `p2-p1` è un intero ed è il numero di posizioni di dimensione **`sizeof`**`(T)` per cui `p1` precede `p2` (negativo se `p2` precede `p1`)
- si possono applicare operatori di confronto `p1<p2`, `p1>=p2`,ecc.

$\Longrightarrow$ `p2-p1` viene implicitamente diviso per **`sizeof`**`(T)`



- Esempio di operazioni aritmetiche su puntatori:
  { `RIF_PUNT/aritmetica_punt.cc` }

Priorità tra dereference e operatori aritmetici

Nota

Attenzione alle priorità tra l'operatore dereference "`*`" e gli operatori aritmetici:

- `*pv+1` è equivalente a `(*pv)+1`, non a `*(pv+1)`
- `*pv++` è equivalente a `*(pv++)`, non a `(*pv)++`

$\Longrightarrow$ è consigliabile usare le parentesi per non confondersi.

- Esempio di cui sopra:
  { `RIF_PUNT/priorita.cc` }