Puntatori

Credits Prof. Alessandro Campi

Variabili "rivisitate"

- Finora una variabile è stata accessibile solo mediante un *nome* (identificatore):

```
x = a;
```

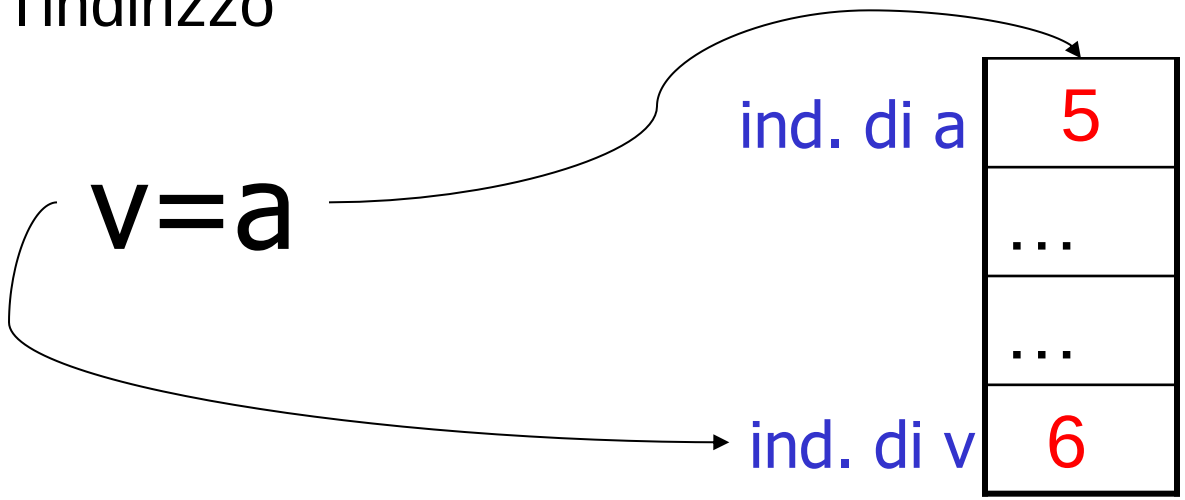
- Il valore contenuto nella cella identificata da **`a`** è memorizzato nella cella identificata da **`x`**
  - È possibile che le variabili occupino più celle
- Ma che cos'altro identifica una variabile?
  - Già più volte però si è parlato di *indirizzi* (assembler, scanf, array, …)

Indirizzi e valori

- Ogni variabile ha, tra gli elementi che la caratterizzano:
  - ***Indirizzo***: è l'indirizzo della locazione di memoria associata alla variabile (ind. della prima cella)
  - ***Valore***: è il valore contenuto nella locazione di memoria associata alla variabile
- L'indirizzo è immutabile, il valore muta durante l'esecuzione del programma
  - La variabile, cioè, **non si sposta**

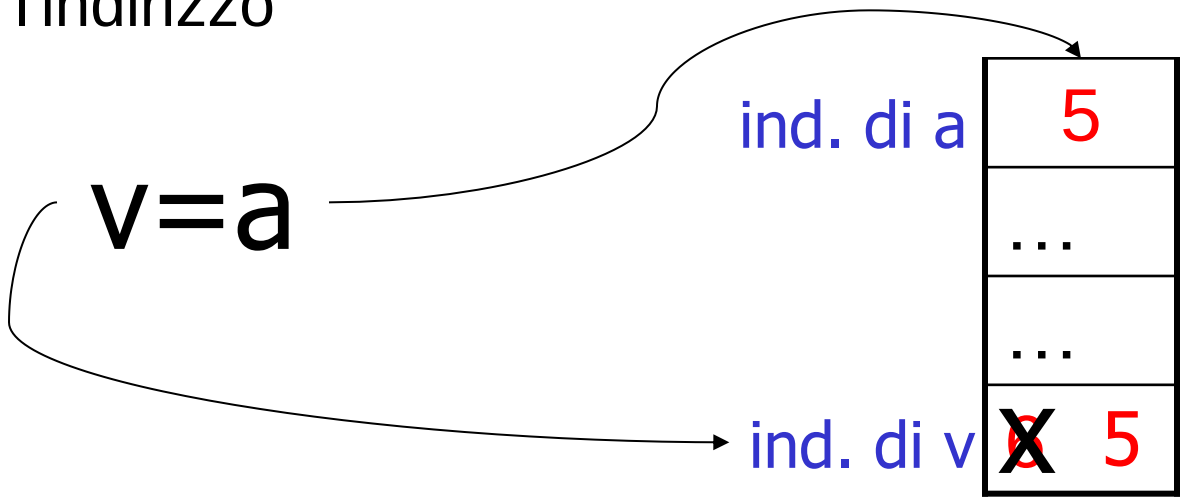
Indirizzi e valori: gli assegnamenti

- Quando una variabile è a sinistra di un assegnamento, **si usa** il suo **indirizzo** per **modificare** il suo **valore**
- Quando è a destra, **si usa** il **valore**
  - a cui accediamo tramite l'indirizzo



Indirizzi e valori: gli assegnamenti

- Quando una variabile è a sinistra di un assegnamento, **si usa** il suo **indirizzo** per **modificare** il suo **valore**
- Quando è a destra, **si usa** il **valore**
  - a cui accediamo tramite l'indirizzo



Gli identificatori servono "a noi" per distinguere agevolmente le variabili, ma per accedere alla RAM l'esecutore usa (ovviamente) gli indirizzi

Indirizzi

- In alcuni linguaggi di programmazione non è possibile (per il programmatore) conoscere gli indirizzi delle variabili
  - Esempio: **Java**
- In C è possible conoscere l'indirizzo delle locazioni di memoria associate alle variabili, mediante l'operatore **&**

L'operatore **&**

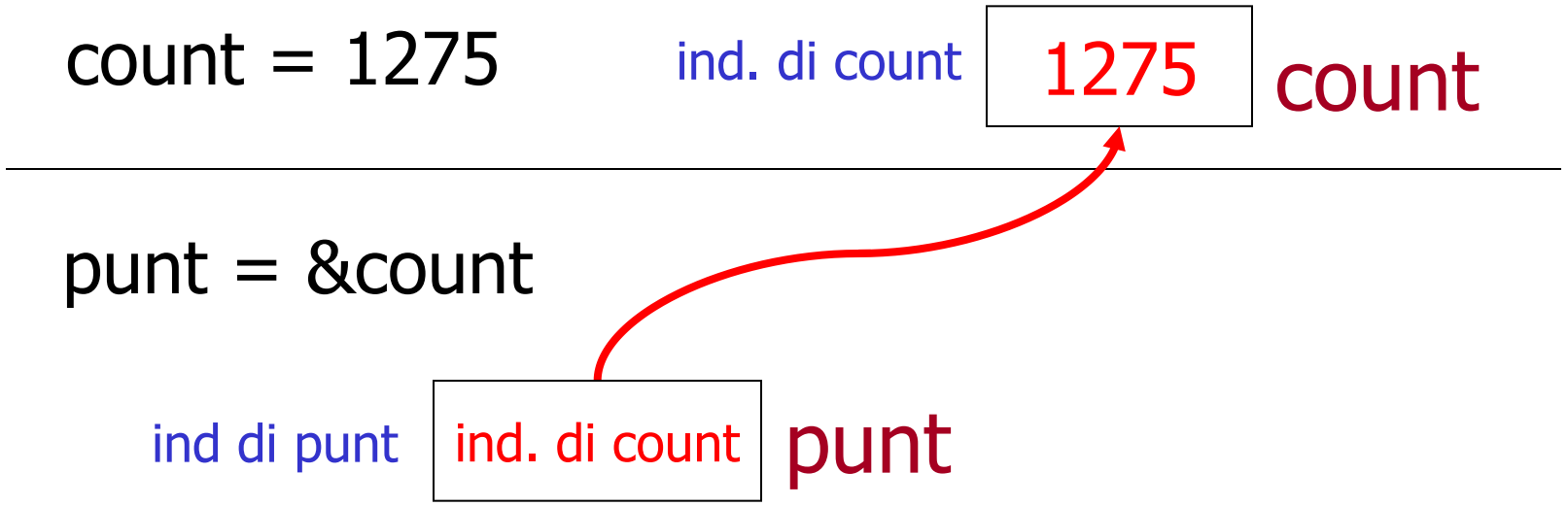
```
int main() {
    int x = 3;
    printf ( "indirizzo di x : %p \n", &x );
    printf ( "valore di x : %d \n", x );
}
```

Output del programma:

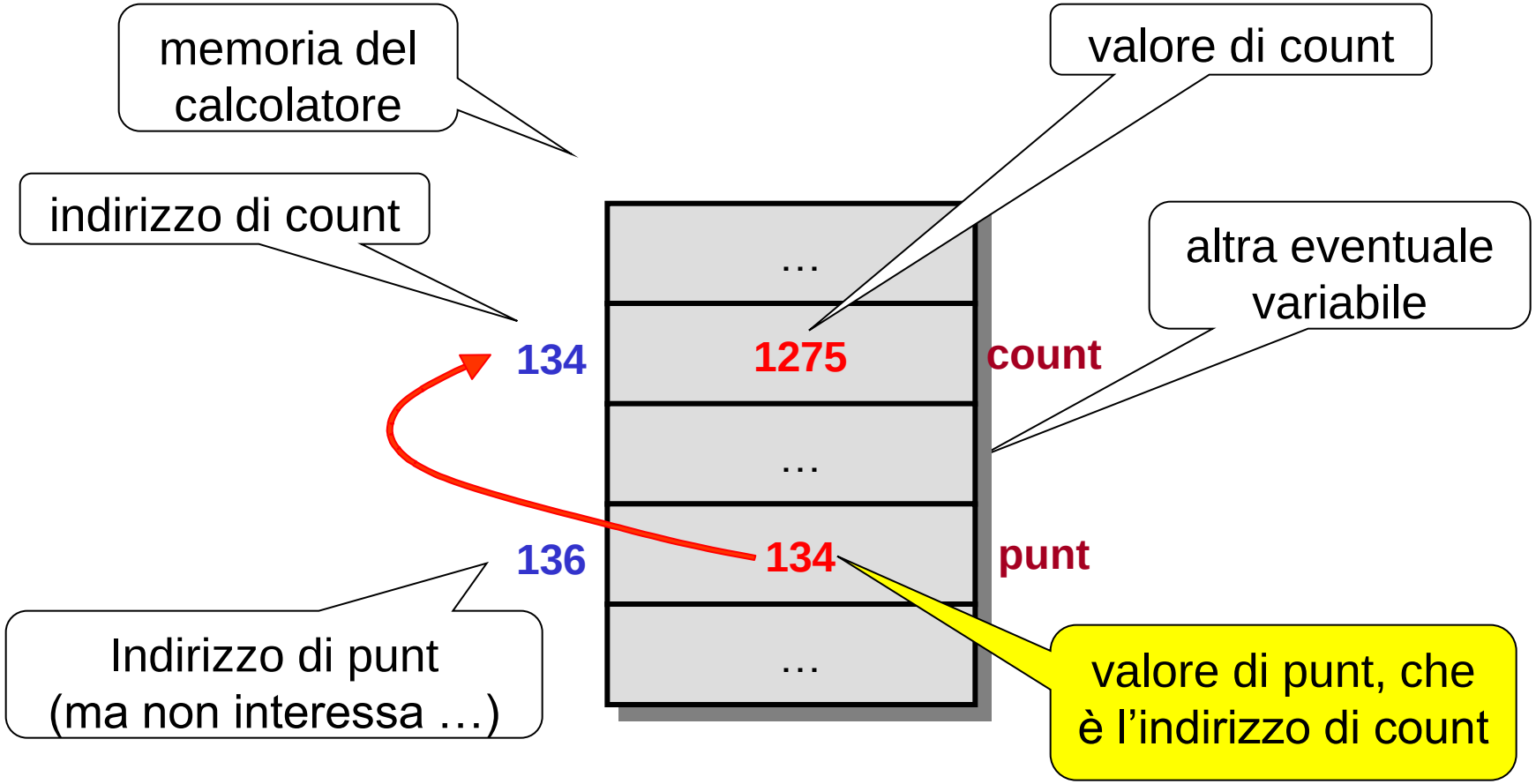
```
indirizzo di x : 0xbffff984
valore di x : 3
```

I puntatori

- Ci sono delle variabili, le variabili ***puntatore***, che possono contenere l'indirizzo di un'altra variabile



O anche …


memoria del calcolatore
valore di count
indirizzo di count
altra eventuale variabile
…
134
1275
count
…
136
134
punt
…
Indirizzo di punt (ma non interessa …)
valore di punt, che è l'indirizzo di count

Dichiarare i puntatori

Tipo * nomePunt;

- TipoRef è un puntatore a dati di tipo Tipo
  - int * intRef;
  - float * floatRef;

- ATTENZIONE: *puntatori a dati di tipo diverso sono variabili di tipo diverso*
- Suggerimento: usare "Ref" (o Punt) in coda al nome per denotare i puntatori

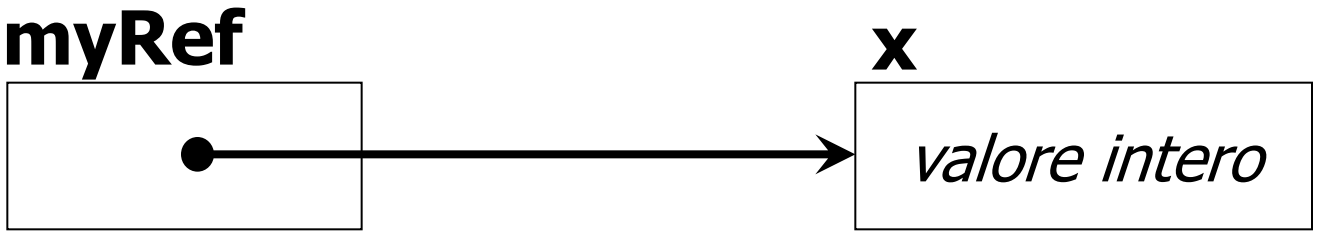
Il tipo puntatore

typedef Tipo * TipoRef;

- TipoRef è un puntatore a dati di tipo Tipo
  - typedef int *IntRef;
  - IntRef myRef, yourRef;
  - int * herRef;
- ATTENZIONE: *tipi puntatore a dati di tipo diverso sono tipi diverso*

Il modello

Quando abbiamo **myRef = &x** lo rappresentiamo così:



Diciamo che
myRef ***punta a*** x

come possiamo accedere al valore
di questa variabile usando myRef?

dereferenziazione: *myRef

Operazione che permette di accedere al
contenuto della cella puntata da myRef

Dereferenziazione

- L'operatore unario ***** è detto di *dereferenziazione*
- Permette di estrarre il **valore** della variabile puntata dal puntatore che è argomento dell'operatore

```
typedef int * punt_a_int;
```

si legge anche dicendo che dereferenziando un **`punt_a_int`** si ottiene un **`int`**

```
int x  = 3;
punt_a_int p = &x; /* inizializzazione di p */

printf("il valore di x e' %d\n", *p);
```

Equivalente a

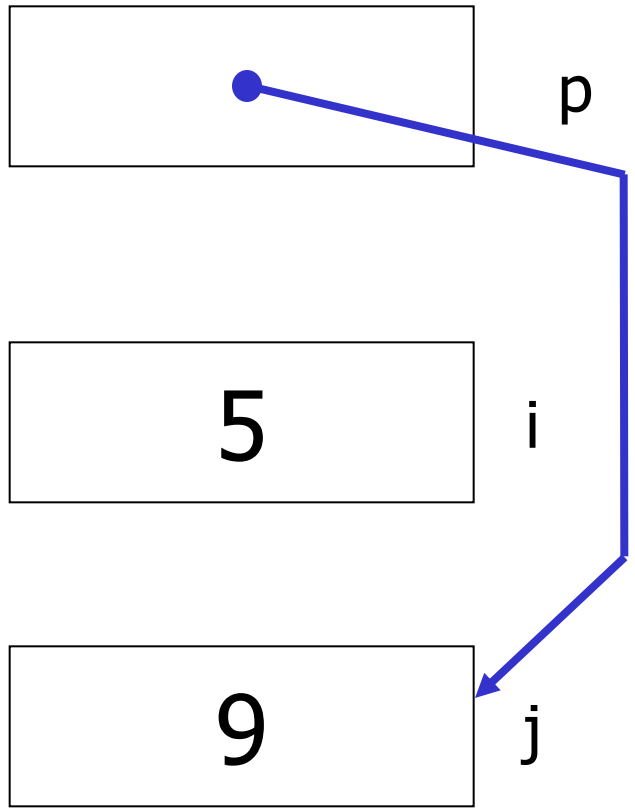
```
int x  = 3;
int * p = &x; /* inizializzazione di p */

printf("il valore di x e' %d\n", *p);
```

Dereferenziazione

```
char x  = 'a';
char * p = &x; /* inizializzazione di p */

printf("il valore di x e' %c\n", *p);
```

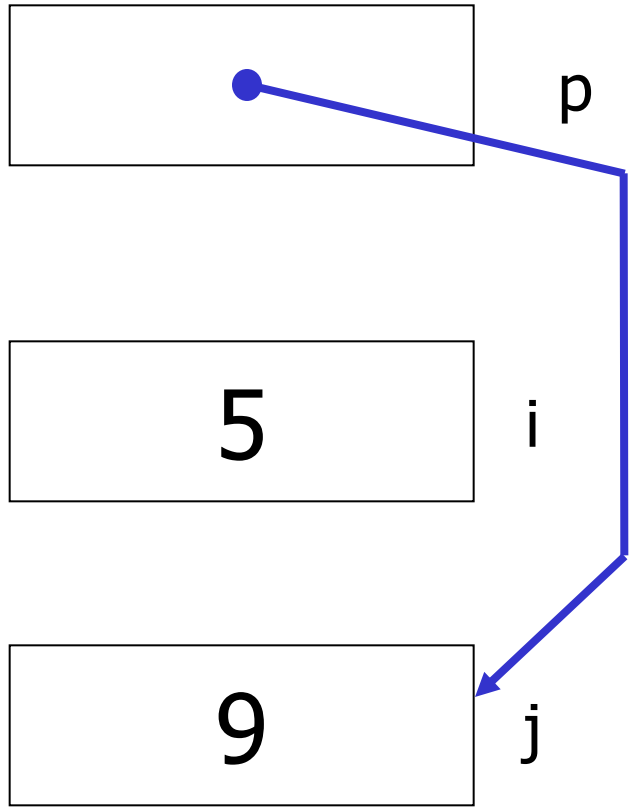
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
```



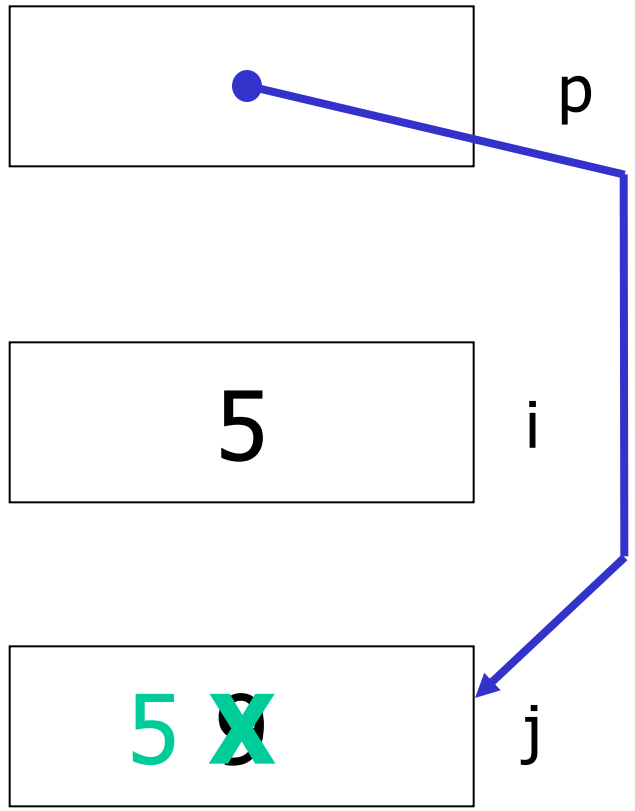
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
?
*p = i;
```



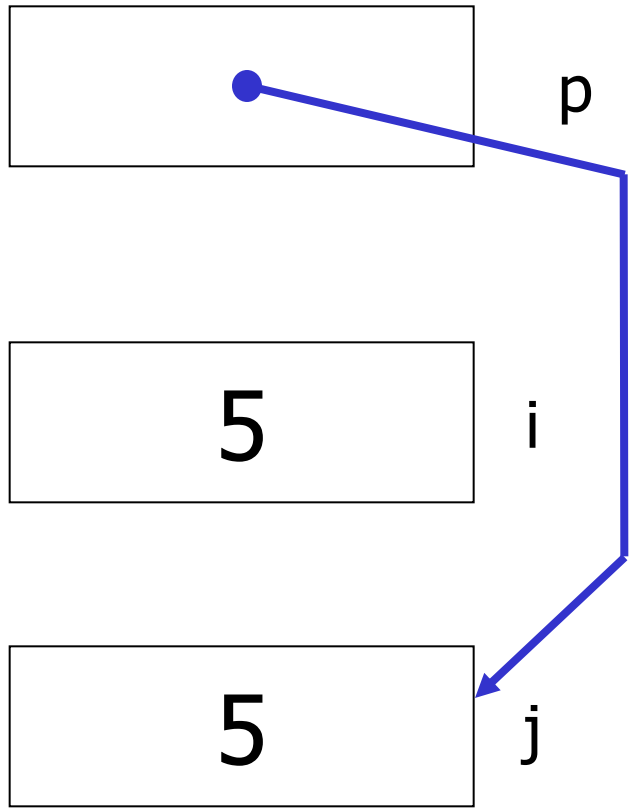
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;

*p = i;
```



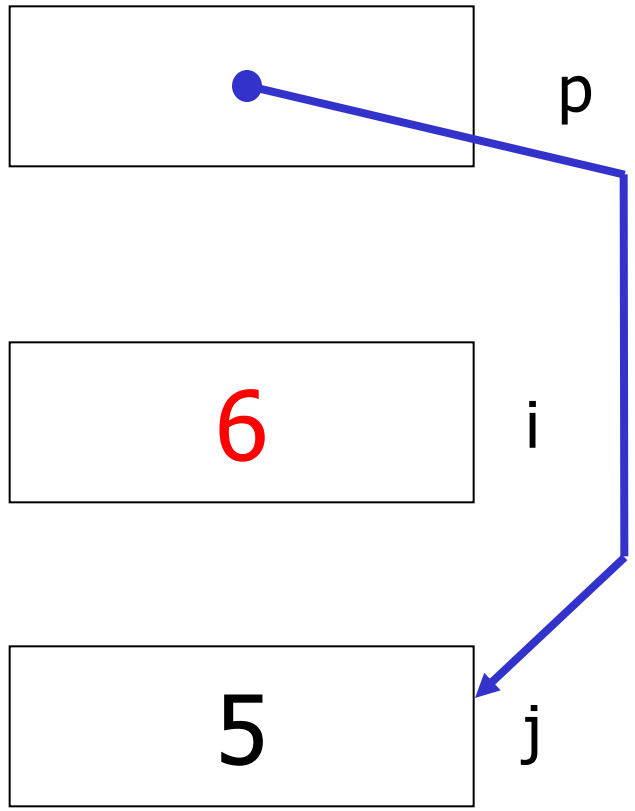
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;

*p = i;
```



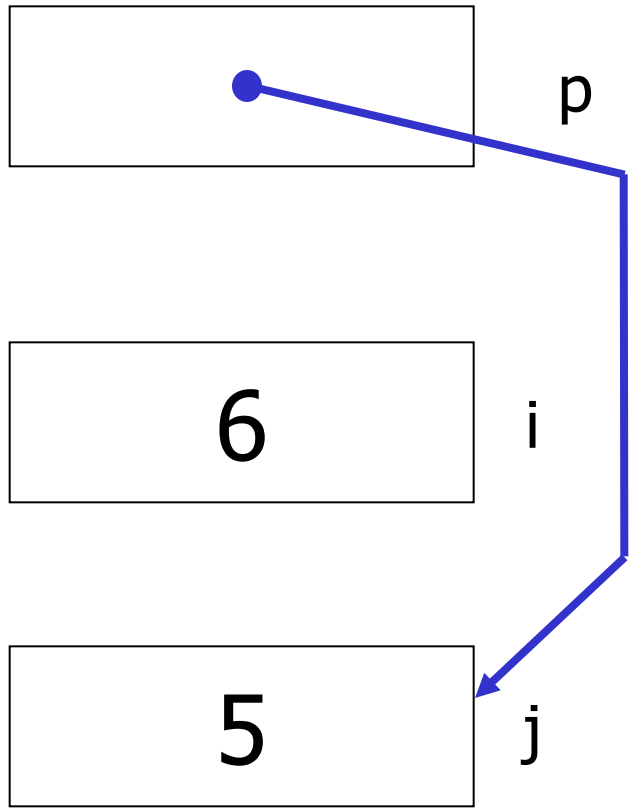
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;

*p = i;

++i;
```



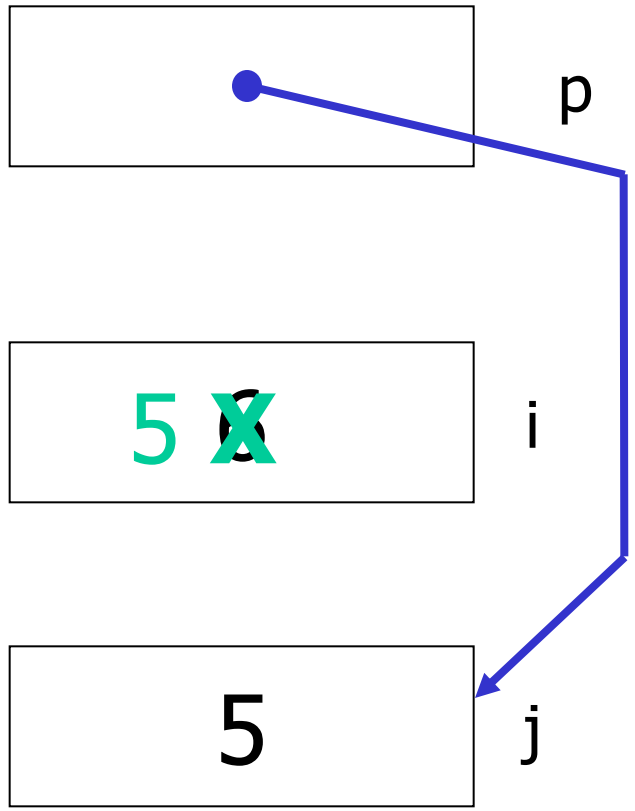
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;

*p = i;

++i;
?
i = *p;
```



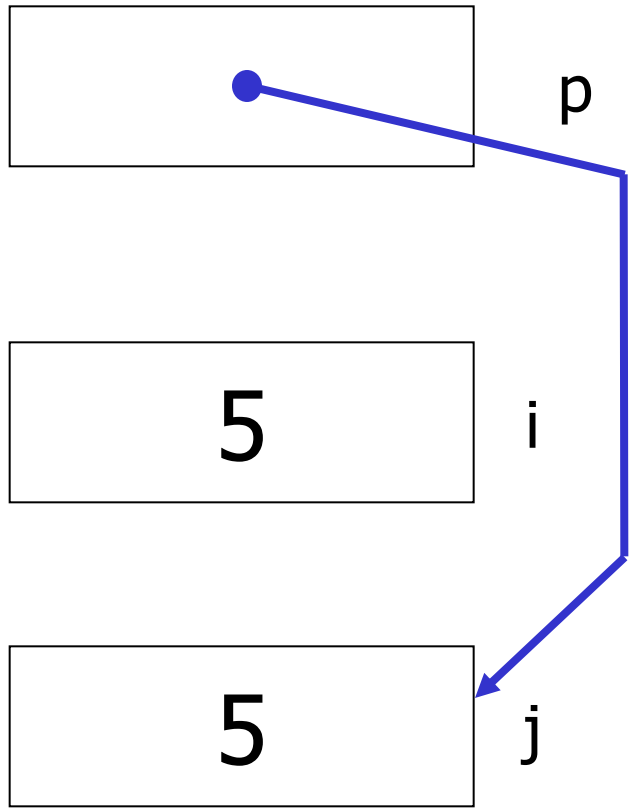
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
*p = i;
++i;
i = *p;
```



Esercizio: simulazione di esecuzione

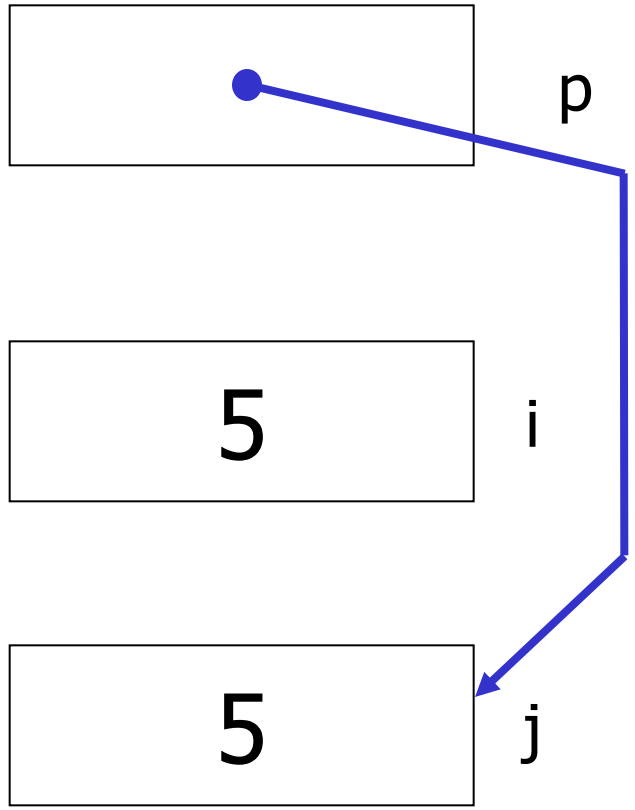
```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
*p = i;
++i;
i = *p;
```



Esercizio: simulazione di esecuzione

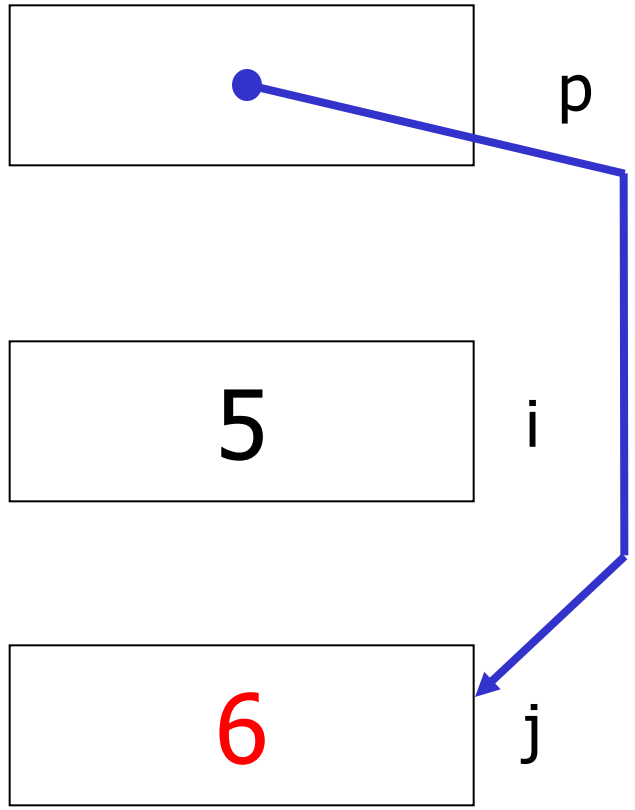
```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
*p = i;
++i;
i = *p;
(*p)++;
```

?



Esercizio: simulazione di esecuzione

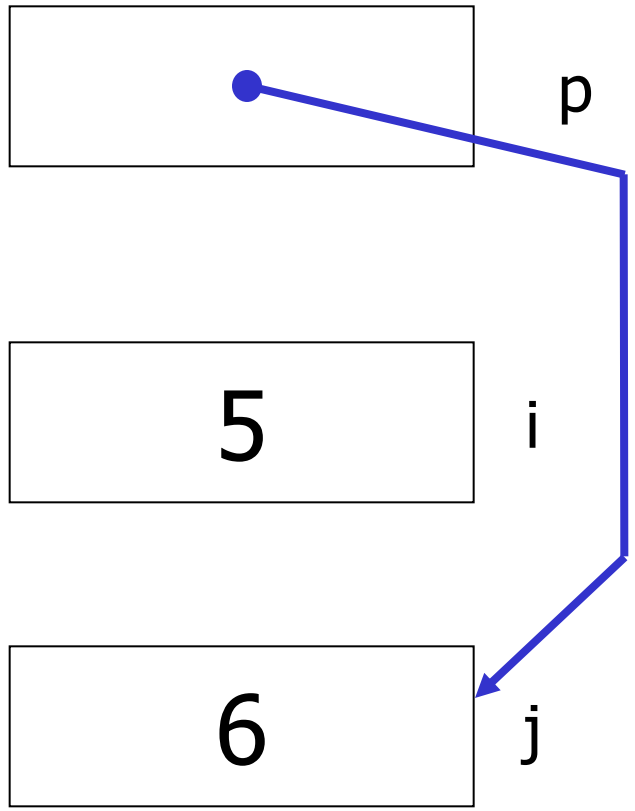
```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
*p = i;
++i;
i = *p;
(*p)++;
```



Esercizio: simulazione di esecuzione

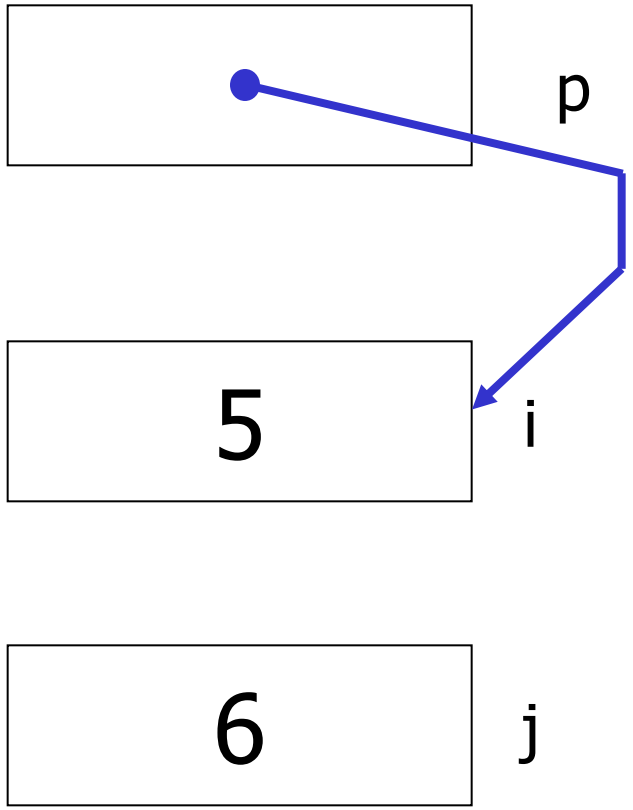
```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;

*p = i;

++i;

i = *p;

(*p)++;

p = &i;
```

?



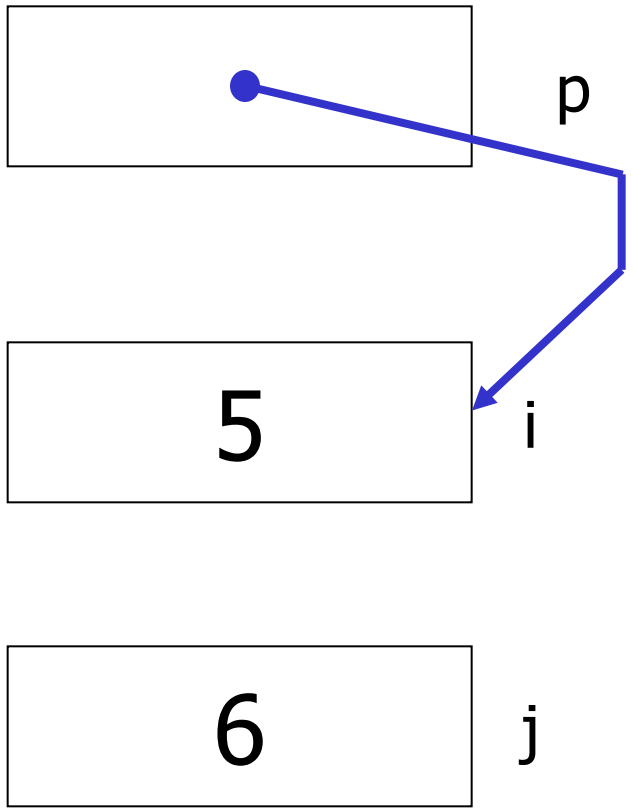
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
*p = i;
++i;
i = *p;
(*p)++;
p = &i;
```



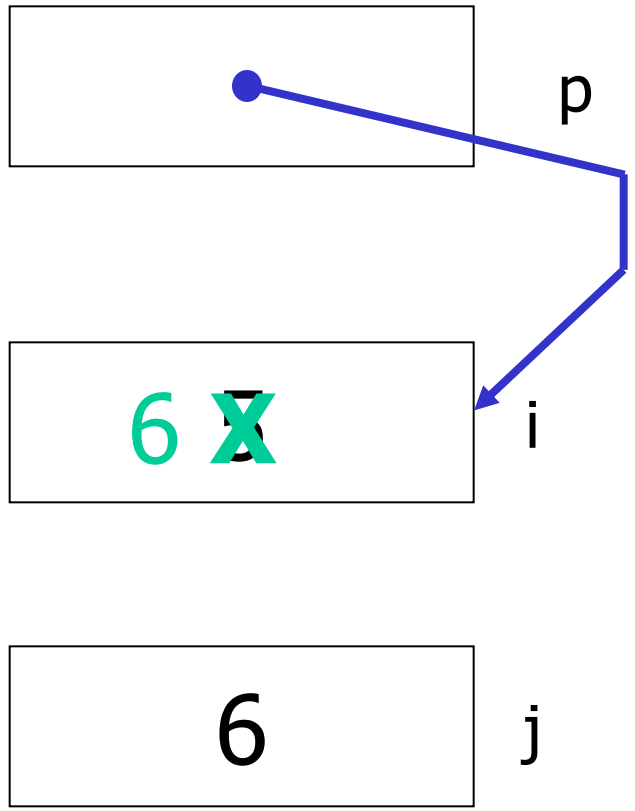
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
*p = i;
++i;
i = *p;
(*p)++;
p = &i;
?
*p = j;
```



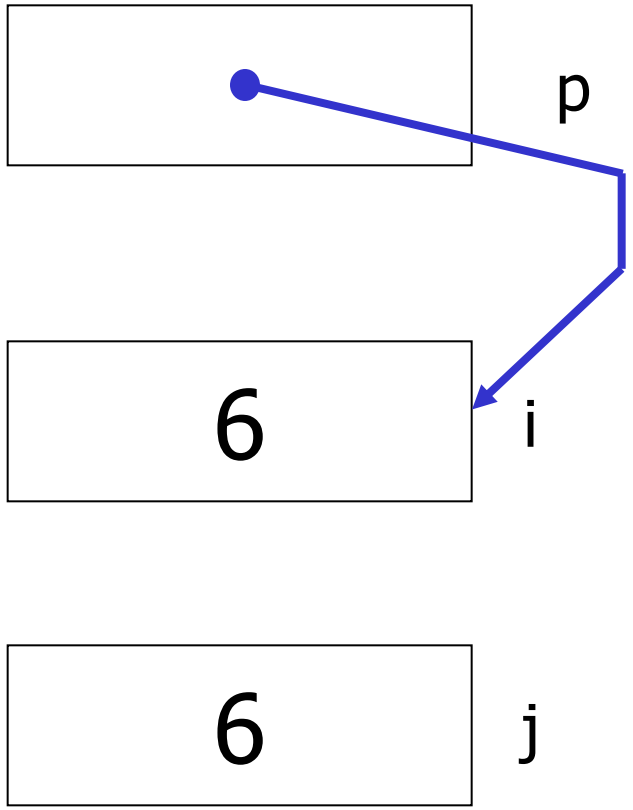
Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
*p = i;
++i;
i = *p;
(*p)++;
p = &i;
*p = j;
```



Esercizio: simulazione di esecuzione

```
typedef int * Punt;

Punt p;
int i = 5, j = 9;
p = &j;
*p = i;
++i;
i = *p;
(*p)++;
p = &i;
*p = j;
```



Puntatori: riassunto

- **`int *`** è la dichiarazione di un puntatore **`p`** a un intero

  `int i, *p;`

- Con **`&i`** si denota l'indirizzo della variabile **`i`**
- **`&`** è l'operatore che restituisce l'indirizzo di una variabile

  `p = &i;` (operatore di referenziazione)

- L'operatore opposto è **`*`**, che restituisce il valore puntato

  `i = *p;` (operatore di dereferenziazione)

- **Attenzione:** non si confondano i molteplici usi dell'asterisco (**moltiplicazione**, **dichiarazione** di puntatore, e **dereferenziazione**)

Esercizio

Data a seguente dichiarazione

```
int *p, *q;
```

Spiegare la differenza tra

```
p = q;
```

e

```
*p = *q;
```

Esercizio

Data a seguente dichiarazione

```
int *p, *q;
```

Spiegare la differenza tra

```
p = q;
```

e

```
*p = *q;
```

- Nel primo caso si impone che il puntatore **`p`** punti alla stessa variabile a cui punta **`q`**
- Nel secondo caso si assegna il **valore** della variabile puntata da **`q`** al **valore** della variabile puntata da **`p`**

Inizializzazione dei puntatori

Data a seguente dichiarazione

```
int *p;
*p = 7;
```

- Tipicamente solleva un segmentation fault.
- La causa è che il contenuto della cella `p` potrebbe, una volta letto come un indirizzo, dar luogo a:
  - Un indirizzo in memoria non accessibile
  - Un indirizzo non esistente (e.g. memoria troppo piccola)

Inizializzazione dei puntatori

Data a seguente dichiarazione

```
int *p;
*p = 7;
```

- Tipicamente solleva un segmentation fault.
- La causa è che il contenuto della cella `p` potrebbe, una volta letto come un indirizzo, dar luogo a:
  - Un indirizzo in memoria non accessibile
  - Un indirizzo non esistente (e.g. memoria troppo piccola)
- Soluzione, inizializzare i puntatori sempre con una variabile dichiarata di appoggio:

```
int *p, i; // anche se i non si usa dirett.
p = &i; // p punta ad una cella ammiss.
*p = 7;
```

Inizializzazione dei puntatori

E’ possible inizializzare un puntatore con la prima cella di un array

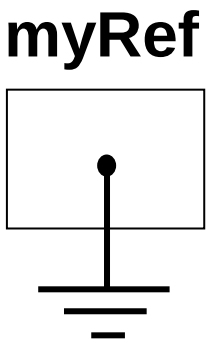
```
int *p, a[10];
p = a;// CORRETTO, copia in p &a[0]
```

Il valore NULL

- NULL: costante simbolica che rappresenta un valore speciale che può essere assegnato a un puntatore
- Significa che la variabile non punta a niente
  - È un errore dereferenziare la variabile che punta a NULL

```
int *p = NULL, a;
```

myRef = NULL;

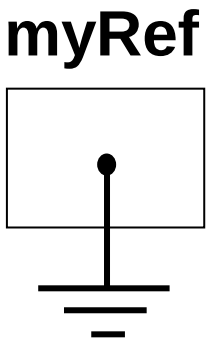


Il valore NULL

- NULL: costante simbolica che rappresenta un valore speciale che può essere assegnato a un puntatore
- Significa che la variabile non punta a niente
  - È un errore dereferenziare la variabile che punta a NULL

```
int *p = NULL, a;
*p = 7; // ERRORE!
```

myRef = NULL;



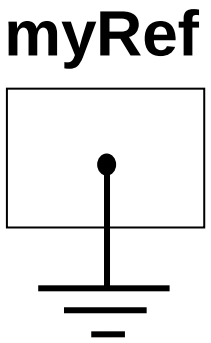

```
"C:\Users\Giacomo\Dropbox (DEIB)\Didattica\2023_Informatica_A_Boracchi\Lez10_codes\provaPuntatori_noArray.exe"
inserisci p: 23

Process returned -1073741819 (0xC0000005)   execution time : 3.606 s
Press any key to continue.
```

Il valore NULL

- NULL: costante simbolica che rappresenta un valore speciale che può essere assegnato a un puntatore
- Significa che la variabile non punta a niente
  - È un errore dereferenziare la variabile che punta a NULL

```
int *p = NULL, a;
*p = 7; // ERRORE!
p = &a; *p = 7; // CORRETTO!
```

myRef = NULL;



- Standard ANSI: impone che NULL rappresenti il valore 0
  - Test di nullità di un puntatore: if (p == NULL) oppure if (!p)
  - Test di non nullità: if (p != NULL) oppure if (p)
- Utilizziamo il simbolo della "messa a terra"

Inizializzazione dei puntatori

- Il valore iniziale di un puntatore **dovrebbe essere la costante speciale NULL**
- NULL significa che **non ci si riferisce ad alcuna cella di memoria**
- Dereferenziando NULL si ha un **errore in esecuzione**
- *Come al solito, non bisogna fare **MAI** affidamento sulle inizializzazioni implicite delle variabili che il C potrebbe fare*
  - *Alcune implementazioni inizializzano a NULL*

Puntatori e tipo delle variabili puntate

- Il compilatore segnala l'uso di puntatori a dati di tipo diverso da quello a cui dovrebbero puntare
  - In forma di warning: sono errori *potenziali*
- I tipi "puntatore a tipo x" e "puntatore a tipo y" sono tutti diversi tra loro
- Il tipo **void *** però è compatibile con tutti i puntatori ad altri tipi

Puntatori e Array

Inizializzazione dei puntatori

E’ possible inizializzare un puntatore con la prima cella di un array

```
int *p, a[10];
p = a;// CORRETTO, copia in p &a[0]
a = p;// SBAGLIATO! La parte a dx dell’uguale non è modificabile, è un indirizzo costante!
```

Esempio: assegna a due puntatori l'indirizzo degli elementi con valore minimo e massimo in un array

```
#define LUNGHEZZAARRAY  100
int main () {
    int    i,   ArrayDiInt[LUNGHEZZAARRAY];
    int    *PuntaAMinore, *PuntaAMaggiore;
    . . . .
    PuntaAMinore = &ArrayDiInt[0];
    i = 1;
    while ( i < LUNGHEZZAARRAY ) {
       if ( ArrayDiInt[i] < *PuntaAMinore )
          PuntaAMinore = &ArrayDiInt[i];
       i = i + 1;
    }
    PuntaAMaggiore = &ArrayDiInt[0]; i = 1;
    while ( i < LUNGHEZZAARRAY ) {
       if ( ArrayDiInt[i] > *PuntaAMaggiore )
          PuntaAMaggiore = &ArrayDiInt[i];
       i = i + 1;
    }
    return 0;
```

Aritmetica dei puntatori

- Il C permette operazioni di somma e sottrazione tra puntatori
- Per esempio:

```
int *p,a[10];
p = a;
p = p + 3;// salta di tre indirizzi. Il
  salto è definito dalla dimensione
  del tipo puntato
```

Array e puntatori

- In C esiste una parentela stretta tra array e puntatori
- Il nome di un array (p. es. **`v`**) è una *costante* (simbolica) di tipo puntatore (al tipo componente l'array), di valore "indirizzo della prima cella allocata per l'array"
- Esempio:

  ```
  int v[3];
  ```

  definisce **`v`** come **`int const *`**, cioè come un **puntatore costante** a una variabile intera
- Perciò **`v[i]`** è equivalente a **`*(v + i)`**
  - Calcolo dello **spiazzamento** nel vettore grazie all'aritmetica dei puntatori
- **`v`** è come **`&v[0]`**
- **`v+3`** è come **`&v[3]`**

Ecco finalmente svelato uno dei misteri della scanf!

- Perché ci vuole **&** per memorizzare un valore in una variabile generica, ma non in una stringa?
  - La funzione **scanf**() riceve come parametri gli **indirizzi** delle variabili in cui scrivere i valori letti da terminale
  - Gli identificatori delle variabili “normali” rappresentano la variabile, e per estrarne l’indirizzo occorre l’operatore &.
  - Gli identificatori degli array rappresentano già di per sé i puntatori ai primi elementi, quindi nel caso delle stringhe (che sono array) non occorre &.
  - Se devo acquisire un puntatore ad un tipo base posso usare la scanf

Ecco finalmente svelato uno dei misteri della scanf!

Per acquisire il valore di una cella puntata dal puntatore ad un tipo base, posso usare la scanf e non devo usare **&**

```
int *p, i;
p = &i;
scanf("%d", p);
```

p contiene un indirizzo, quindi la sintassi è corretta. Il risultato delle due scanf è identico!

Riassumendo: array e puntatori

- Con la seguente dichiarazione:

```
int a[5], i, * p;
```

`a[i]`	equivale a `*(a + i)`
`p = a`	equivale a `p = &a[0];`
`p = a + 1`	equivale a `p = &a[1];`
`a = p;`	è un ERRORE
`a = a + 1;`	è un ERRORE

- **Cioè occorre ricordare che `a` è un array e che sebbene contenga un indirizzo, questo non può variare.**

Ancora sull'aritmetica dei puntatori

- Se **`p`** e **`q`** puntano a due diversi elementi di uno stesso array, la differenza:

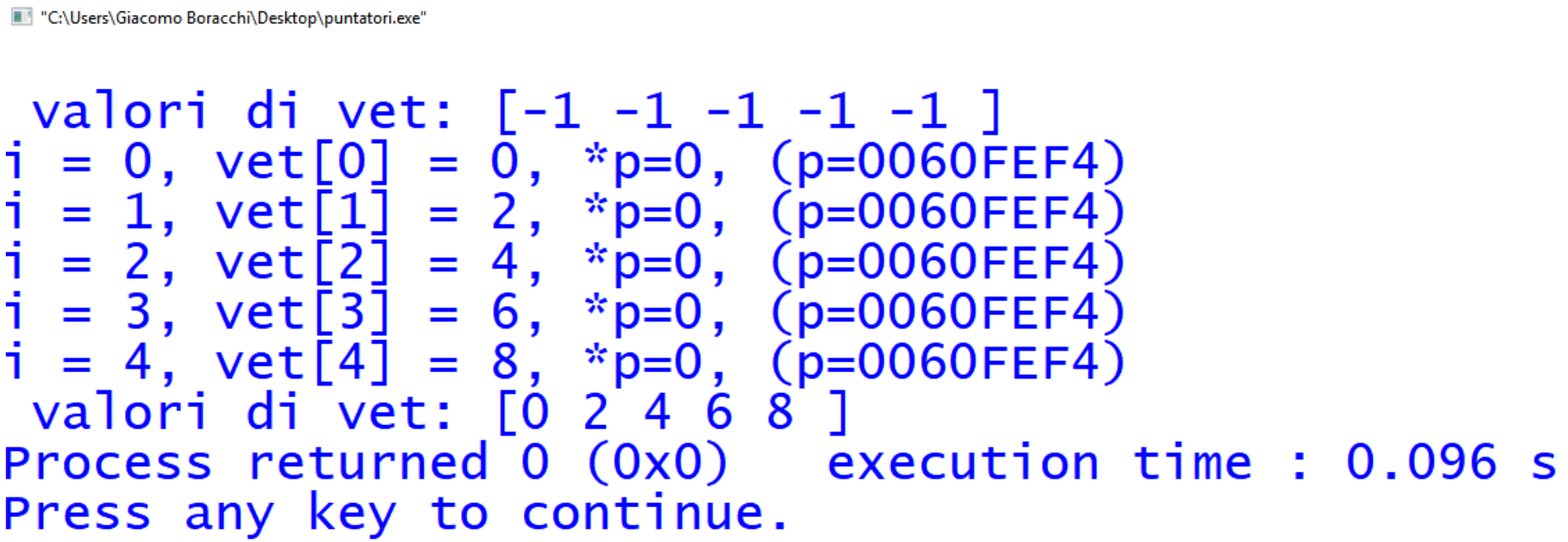
  `p - q`

  dà la distanza **nell'array** tra gli elementi puntati
- Tipicamente **non** coincide con la differenza "aritmetica" tra i valori numerici dei due puntatori
  - È una distanza espressa in "numero di elementi"
- Sono ammissibili le seguenti operazioni tra puntatori:

  `+, ++, -, --, ==, =`

```c
#include<stdio.h>
#define L 5

int main(){
    int vet[L];
    int *p, i;

    // inizializzo a -1 il vettore
    for(i = 0; i < L; i++)
        vet[i] = -1;
    p = vet; //copio nel puntatore l'indirizzo di vet[0], uguale a p = &vet[0]

    printf("\n valori di vet: [");
    for(i = 0; i < L; i++)
        printf("%d ", vet[i]);
    printf("]");

    for(i = 0; i < L; i++)
    {
        *(p + i) = 2*i; // così scrivo nella cella di indirizzo &vet[i];
        // non modifico p, modifico solo gli elmenti di vet
        printf("\ni = %d, vet[%d] = %d, *p=%d, (p=%p)", i, i, vet[i], *p, p); //
stampo l'indirizzo e vedo che sono in sequenza scritta in esadecimale
    }
    printf("\n valori di vet: [");
    for(i = 0; i < L; i++)
        printf("%d ", vet[i]);
    printf("]");
    return 0;
}
```

Output Esecuzione

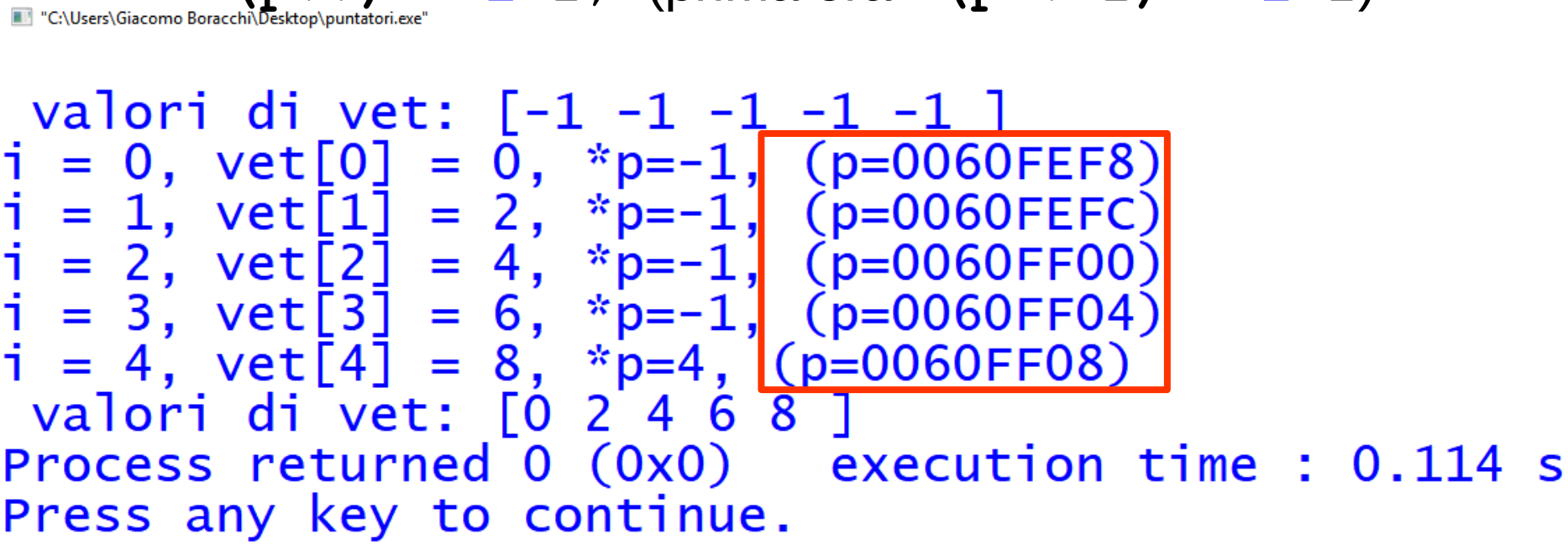


Di fatto p non cambia mai, l'indirizzo è costante (scritto in esadecimale) e punta sempre al vet[0] che vale 0

```c
#include<stdio.h>
#define L 5

int main(){
    int vet[L];
    int *p, i;

    // inizializzo a -1 il vettore
    for(i = 0; i < L; i++)
        vet[i] = -1;
    p = vet; //copio nel puntatore l'indirizzo di vet[0], uguale a p = &vet[0]

    //[…]
    for(i = 0; i < L; i++)
    {
        *(p++) = 2*i;// equivale a *p = 2*i; p++;
            // 1) scrivo nella cella puntata da p il valore 2*i
            // 2) passo all'indirizzo successivo con p
            // la prima volta scrive in vet[0] il valore 0
            // [..]
            // l'ultima volta scrive in vet[9] il valore 18
            // ora p punta alla prox cella (è fuori dal range di vet)

        printf("\ni = %d, vet[%d] = %d, *p=%d, (p=%p)", i, i, vet[i], *p, p); }

    printf("\n valori di vet: [");
    for(i = 0; i < L; i++)
        printf("%d ", vet[i]);
    printf("]");
    return 0;
}
```

Output Esecuzione

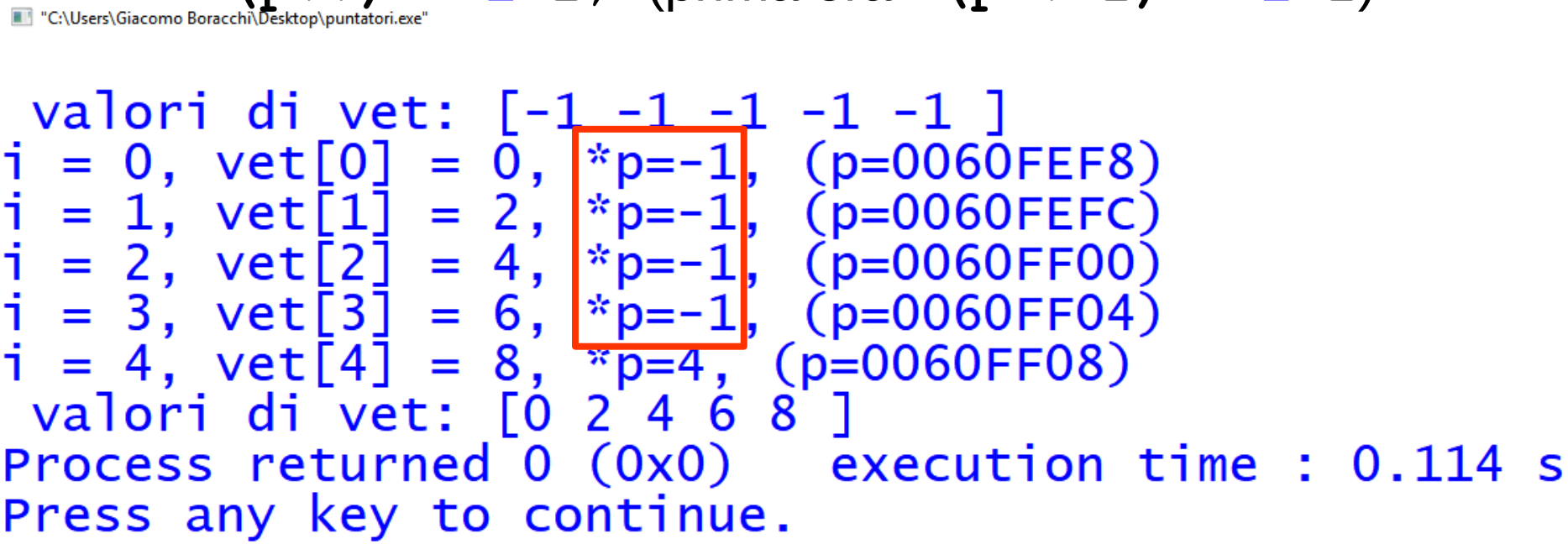
`*(p++) = 2*i;` (prima era `*(p + i) = 2*i`)



- L'indirizzo di p cambia ad ogni iterazione
- Gli indirizzi aumentano di 4 parole (si guardi ultima cifra)

Output Esecuzione

`*(p++) = 2*i;` (prima era `*(p + i) = 2*i`)

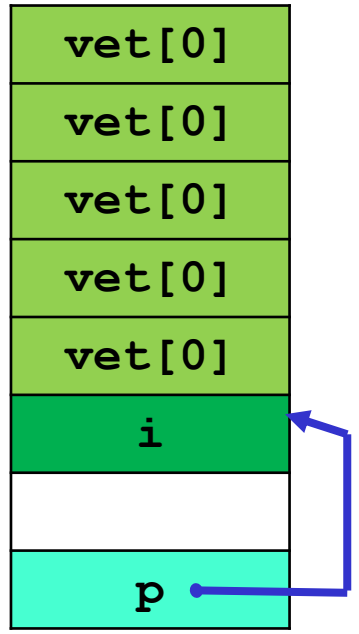


- L'indirizzo di p cambia ad ogni iterazione
- Gli indirizzi aumentano di 4 parole (si guardi ultima cifra)
- il valore puntato da p fa riferimento «alla prima cella successiva», visto che c'è il post-incremento p++
- Come mai *p = 4 nell'ultima iterazione?

Output Esecuzione

```
*(p++) = 2*i;
```

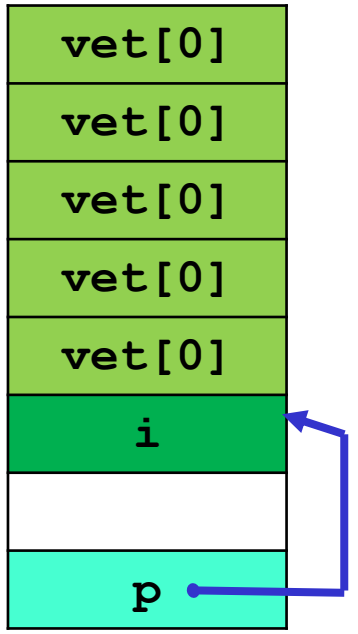
```
"C:\Users\Giacomo Boracchi\Desktop\puntatori.exe"

 valori di vet: [-1 -1 -1 -1 -1 ]
i = 0, vet[0] = 0, *p=-1, (p=0060FEF8)
i = 1, vet[1] = 2, *p=-1, (p=0060FEFC)
i = 2, vet[2] = 4, *p=-1, (p=0060FF00)
i = 3, vet[3] = 6, *p=-1, (p=0060FF04)
i = 4, vet[4] = 8, *p=4, (p=0060FF08)
 valori di vet: [0 2 4 6 8 ]
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.114 s
Press any key to continue.
```



- il valore puntato da **p** fa riferimento «alla prima cella successiva», visto che c'è il post-incremento **p++**
  - quindi **p** esce dallo spazio riservato a vet e raggiunge lo spazio riservato a **i**

Output Esecuzione

```
*(p++) = 2*i;
```




```
"C:\Users\Giacomo Boracchi\Google Drive\Didattica\2018_Informatica_A\Lez10\puntatori_e_array.exe"

 valori di vet: [-1 -1 -1 -1 -1 ]
 &i=0060FF08
i = 0, vet[0] = 0, *p=-1, (p=0060FEF8)
i = 1, vet[1] = 2, *p=-1, (p=0060FEFC)
i = 2, vet[2] = 4, *p=-1, (p=0060FF00)
i = 3, vet[3] = 6, *p=-1, (p=0060FF04)
i = 4, vet[4] = 8, *p=4, (p=0060FF08)
 p punta a i dopo il ciclo
 valori di vet: [0 2 4 6 8 5 6356744 2396160 4199040 6356884 ]
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.091 s
Press any key to continue.
```

Per verificare se davvero **p** punta ad **i**, posso stampare l'indirizzo di **i**

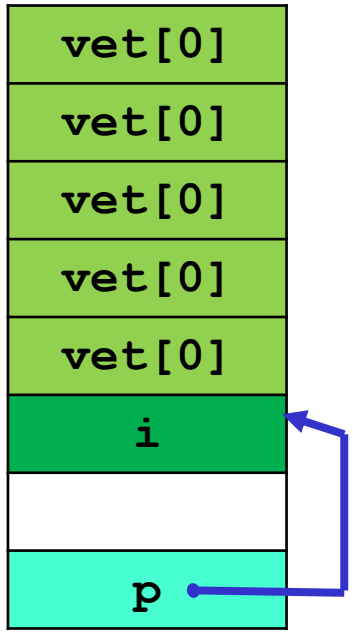
```
printf("\n &i = %p", &i);
```

Oppure usare l'aritmetica dei puntatori

```
if(p == &i)
    printf("\n p punta a i dopo il ciclo");
```

Output Esecuzione

```
*(p++) = 2*i;
```



E come mai non c'è segmentation fault?

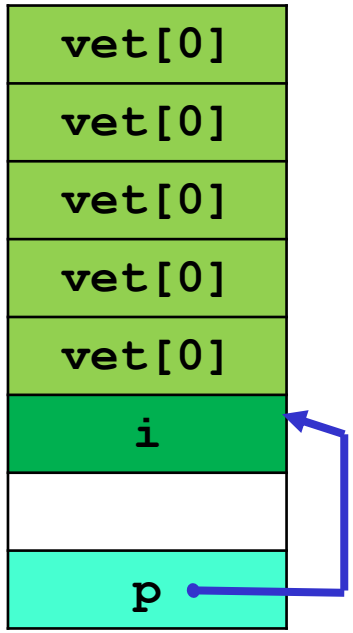
- Accedo solo in lettura (nella printf) ad una cella che è dimensionata correttamente per contenere un intero

Output Esecuzione

```
*(p++) = 2*i;
```

È sempre così?

- No, chi dispone le variabili nella memoria è il compilatore, non sappiamo come questo avviene. Ci limitiamo ad osservare cosa sta avvenendo. Aggiungere una variabile, cambiare l'ordine con cui vengono dichiarate potrebbe cambiare tutto



```c
#include<stdio.h>
#define L 5

int main(){
    int vet[L];
    int *p, i;

    // inizializzo a -1 il vettore
    for(i = 0; i < L; i++)
        vet[i] = -1;
    p = vet; //copio nel puntatore l'indirizzo di vet[0], uguale a p = &vet[0]

    //[…]
    for(i = 0; i < L; i++)
    {
        *(++p) = 2*i;// equivale a p++; *p = i;
            // 1) passo all'indirizzo successivo con p
            // 2) scrivo nella cella puntata da p il valore 2*i
            // salta vet[0]
            // la prima volta scrive in vet[1] il valore 0
            // [..]
            // la penultima volta scrive in vet[9] il valore 16
            // l'ultima volta scrive in vet[10] il valore 18
            // ora p punta alla prox cella (è fuori dal range di vet)
        printf("\ni = %d, vet[%d] = %d, *p=%d, (p=%p)", i, i, vet[i], *p, p); }

    printf("\n valori di vet: [");
    for(i = 0; i < L; i++)
        printf("%d ", vet[i]);
    printf("]");
    return 0;
}
```

Output Esecuzione

```
"C:\Users\Giacomo Boracchi\Desktop\puntatori.exe"
```

```
*(++p) = 2*i;
```

```
 valori di vet: [-1 -1 -1 -1 -1 ]
i = 0, vet[0] = -1, *p=0, (p=0060FEF8)
i = 1, vet[1] = 0, *p=2, (p=0060FEFC)
i = 2, vet[2] = 2, *p=4, (p=0060FF00)
i = 3, vet[3] = 4, *p=6, (p=0060FF04)
i = 8, vet[8] = 2, *p=8, (p=0060FF08)
 valori di vet: [-1 0 2 4 6 ]
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.151 s
Press any key to continue.
```

- p cambia ad ogni iterazione
- Con il pre-incremento, nella prima iterazione modifico la cella seguente a vet[0]. Quindi vet[0] rimane -1
- Di fatto, nell'iterazione i-sima, p modifica vet[i+1]

Output Esecuzione

"C:\Users\Giacomo Boracchi\Desktop\puntatori.exe"

```
*(++p) = 2*i;
```

```
 valori di vet: [-1 -1 -1 -1 -1 ]
i = 0, vet[0] = -1, *p=0, (p=0060FEF8)
i = 1, vet[1] = 0, *p=2, (p=0060FEFC)
i = 2, vet[2] = 2, *p=4, (p=0060FF00)
i = 3, vet[3] = 4, *p=6, (p=0060FF04)
i = 8, vet[8] = 2, *p=8, (p=0060FF08)
 valori di vet: [-1 0 2 4 6 ]
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.151 s
Press any key to continue.
```

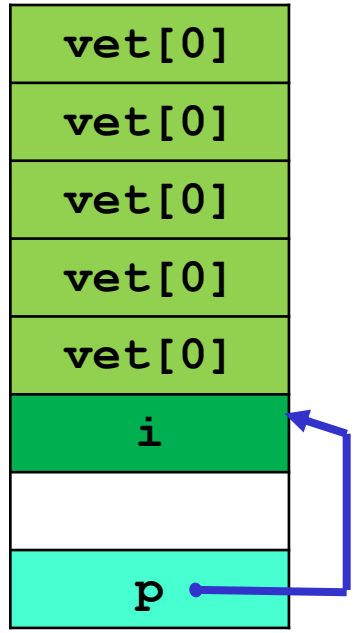
- Come mai `i = 8` nell'ultima iterazione?

Output Esecuzione

```
"C:\Users\Giacomo Boracchi\Desktop\puntatori.exe"
```

```
*(++p) = 2*i;
```

```
 valori di vet: [-1 -1 -1 -1 -1 ]
i = 0, vet[0] = -1, *p=0, (p=0060FEF8)
i = 1, vet[1] = 0, *p=2, (p=0060FEFC)
i = 2, vet[2] = 2, *p=4, (p=0060FF00)
i = 3, vet[3] = 4, *p=6, (p=0060FF04)
i = 8, vet[8] = 2, *p=8, (p=0060FF08)
 valori di vet: [-1 0 2 4 6 ]
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.151 s
Press any key to continue.
```



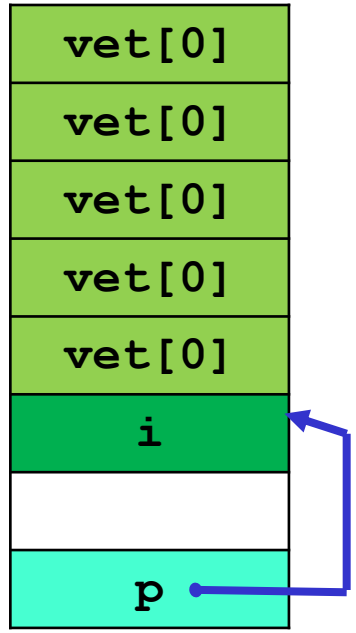
- Come mai `i = 8` nell'ultima iterazione?
  - Al termine del ciclo, `p` punta alla prima cella libera fuori dall'array. In questo caso troviamo la cella di `i`
  - A differenza dell'esempio precedente, ora prima si incrementa `p` e poi si modifica il valore della cella puntata. Quindi ora si modifica `i`

Output Esecuzione

```
"C:\Users\Giacomo Boracchi\Desktop\puntatori.exe"
```

```
*(++p) = 2*i;
```

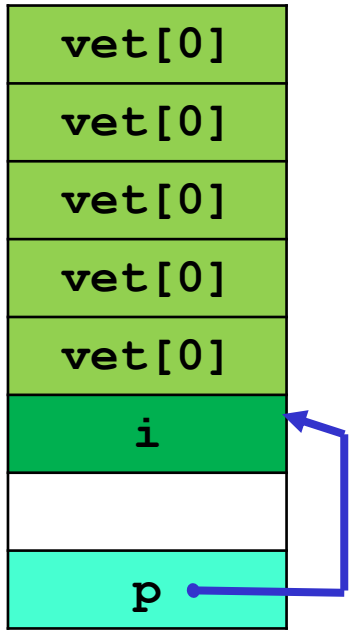
```
 valori di vet: [-1 -1 -1 -1 -1 ]
i = 0, vet[0] = -1, *p=0, (p=0060FEF8)
i = 1, vet[1] = 0, *p=2, (p=0060FEFC)
i = 2, vet[2] = 2, *p=4, (p=0060FF00)
i = 3, vet[3] = 4, *p=6, (p=0060FF04)
i = 8, vet[8] = 2, *p=8, (p=0060FF08)
 valori di vet: [-1 0 2 4 6 ]
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.151 s
Press any key to continue.
```



- Come mai **`i = 8`** nell'ultima iterazione?
  - **`vet[8] = 2`** si ha perché era così inizializzata così la memoria: non viene modificata quella cella
  - **`p`** modifica comunque **`vet[4]`** e ci scrive **`6`**, semplicemente la stampa salta

Output Esecuzione

```
*(p++) = 2*i;
```

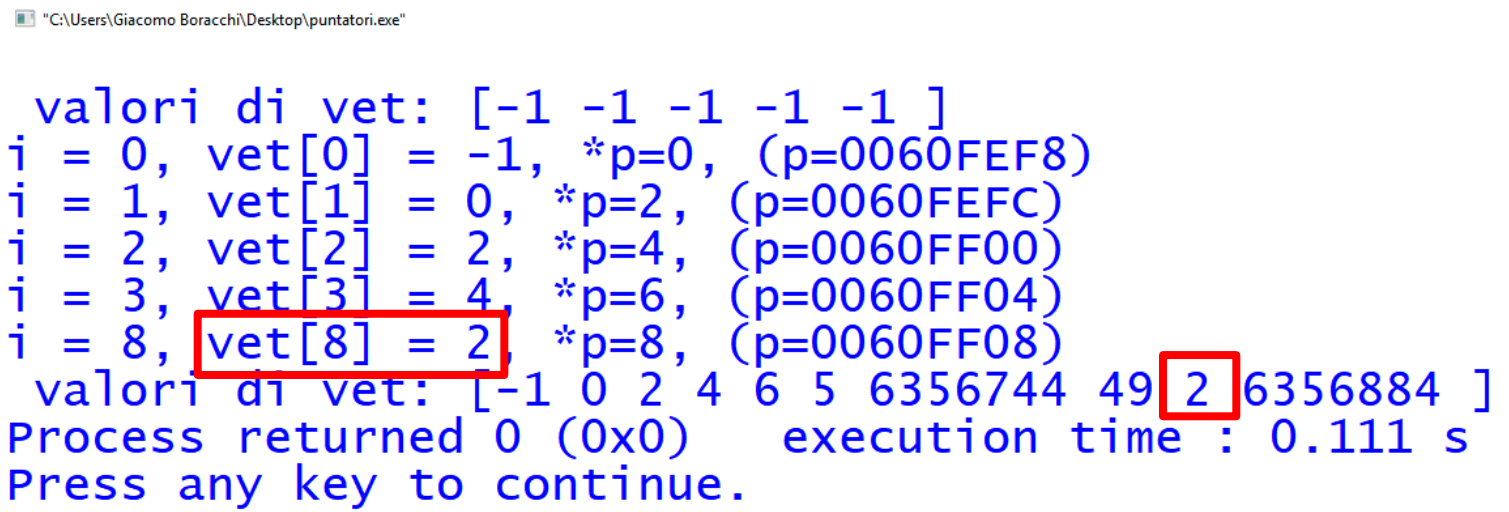


E come mai non c'è segmentation fault?

- Anche se accedo in scrittura, e scrivo in **`vet[5]`** il valore **`8`**, l'operazione viene in questo caso permessa perché il processore non riscontra inconsistenze e non si esce dallo spazio di memoria riservato per il programma.
- Questo ribadisce quanto sia importante controllare gli accessi alla memoria, perché questi potrebbero dar luogo a comportamenti difficilmente controllabili e che non portano a errori a runtime (ed es nel caso in cui scrivessi in **`i`** un valore inferiore a **`L`**)

Se stampassi oltre…

```
printf("\n valori di vet: [");
for(i = 0; i < L + 5; i++)
    printf("%d ", vet[i]);
printf("]");
```



Ritroviamo il valore 2 in **`vet[8]`** come ci si aspettava (sapevamo che era lì)

Se stampassi oltre…

```
printf("\n valori di vet: [");
for(i = 0; i < L + 5; i++)
    printf("%d ", vet[i]);
printf("]");
```

```
"C:\Users\Giacomo Boracchi\Desktop\puntatori.exe"

 valori di vet: [-1 -1 -1 -1 -1 ]
i = 0, vet[0] = -1, *p=0, (p=0060FEF8)
i = 1, vet[1] = 0, *p=2, (p=0060FEFC)
i = 2, vet[2] = 2, *p=4, (p=0060FF00)
i = 3, vet[3] = 4, *p=6, (p=0060FF04)
i = 8, vet[8] = 2, *p=8, (p=0060FF08)
 valori di vet: [-1 0 2 4 6 5 6356744 49 2 6356884 ]
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.111 s
Press any key to continue.
```

Nelle prime 5 posizioni abbiamo il vettore
come l'abbiamo riempito prima (inclusa la posizione 5)

Se stampassi oltre…

```
printf("\n valori di vet: [");
for(i = 0; i < L + 5; i++)
    printf("%d ", vet[i]);
printf("]");
```

```
"C:\Users\Giacomo Boracchi\Desktop\puntatori.exe"

 valori di vet: [-1 -1 -1 -1 -1 ]
i = 0, vet[0] = -1, *p=0, (p=0060FEF8)
i = 1, vet[1] = 0, *p=2, (p=0060FEFC)
i = 2, vet[2] = 2, *p=4, (p=0060FF00)
i = 3, vet[3] = 4, *p=6, (p=0060FF04)
i = 8, vet[8] = 2, *p=8, (p=0060FF08)
 valori di vet: [-1 0 2 4 6 5 6356744 49 2 6356884 ]
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.111 s
Press any key to continue.
```

Come mai abbiamo 5 invece di 8?

- Perché quella è la cella riservata ad **`i`** ed il ciclo sopra ne sta sovrascrivendo il valore (usa sempre **`i!!!`**)
- **Quella cella rimane comunque "della variabile `i`"**

Se stampassi oltre…

```
printf("\n valori di vet: [");
for(i = 0; i < L + 5; i++)
    printf("%d ", vet[i]);
printf("]");
```

Se aggiungessi un'altra variabile **j** (da usare nel ciclo di stampa) cambierebbe la disposizione in memoria e potrei avere altre inconsistenze

```
 valori di vet: [-1 0 2 4 6 5 6356744 49 2 6356884 ]
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.111 s
Press any key to continue.
```

Come mai abbiamo 5 invece di 8?

- Perché quella è la cella riservata ad **i** ed il ciclo sopra ne sta sovrascrivendo il valore (usa sempre **i!!!**)

Se stampassi oltre…

```
printf("\n valori di vet: [");
for(i = 0; i < L + 10000; i++)
    printf("%d ", vet[i]);
printf("]");
```

```
"C:\Users\Giacomo Boracchi\Desktop\puntatori.exe"

 valori di vet: [-1 -1 -1 -1 -1 ]
i = 0, vet[0] = -1, *p=0, (p=0060FEF8)
i = 1, vet[1] = 0, *p=2, (p=0060FEFC)
i = 2, vet[2] = 2, *p=4, (p=0060FF00)
i = 3, vet[3] = 4, *p=6, (p=0060FF04)
i = 8, vet[8] = 2, *p=8, (p=0060FF08)
 valori di vet: [-1 0 2 4 6 5 6356744 49 2 6356884 4198653 1 10292680
10294952 4214784 6356816 -1 6356820 1994115616 -274007067 -2 199411482
2 1994114848 10294952 0 1994093245 1 4177920 4199061 1 0 0 0 0 0 0 198
2891140 4177920 1982891104 1585647057 6356956 1995911258 4177920 10889
21062 0 0 4177920 0 0 0 0 1088921062 6356896 0 6356964 1995974016 9316
35114 0 6356972 1995911210 -1 1996025011 0 0 4199040 4177920 0
Process returned -1073741819 (0xC0000005)   execution time : 3.213 s
Press any key to continue.
```

Anche se non ho segmentation fault a leggere in poche celle adiacenti al vettore, avrò certamente segmentation fault se esco dallo spazio di memoria dedicato al programma

All in all…

Bisogna usare molta cautela con i puntatori

- Uscire dagli spazi di memoria dedicati ad una variabile potrebbe non dare un segmentation fault
- Bisogna quindi prestare molta attenzione durante lo sviluppo

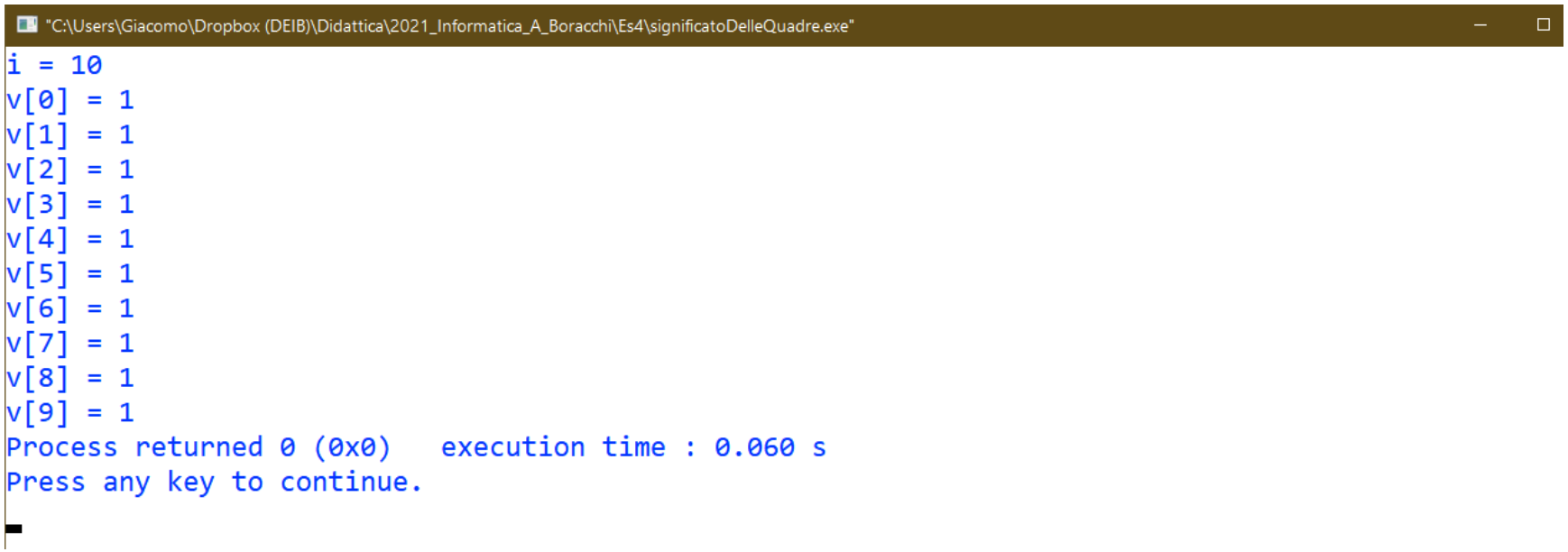
Puntatori e Vettori

```c
#include<stdio.h>

int main()
{
    int i;
    int v[10]={0};

    for(i = 0; i < 10; i++)
        i[v]++;

    printf("i = %d", i);

    for(i = 0; i < 10; i++)
       printf("\nv[%d] = %d", i, v[i]);

    return 0;
}
```

Puntatori e Vettori

```c
#include<stdio.h>

int main()
{
    int i;
    int v[10]={0};

    for(i = 0; i < 10; i++)
        i[v]++;

    printf("i = %d", i);

    for(i = 0; i < 10; i++)
       printf("\nv[%d] = %d", i, v[i]);

    return 0;
}
```

Non da errore né a compile né a runtime


"C:\Users\Giacomo\Dropbox (DEIB)\Didattica\2021_Informatica_A_Boracchi\Es4\significatoDelleQuadre.exe"
i = 10
v[0] = 1
v[1] = 1
v[2] = 1
v[3] = 1
v[4] = 1
v[5] = 1
v[6] = 1
v[7] = 1
v[8] = 1
v[9] = 1
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.060 s
Press any key to continue.

Puntatori e Vettori

```c
#include<stdio.h>

int main()
{
    int i;
    int v[10]={0};

    for(i = 0; i < 10; i++)
       i[v]++;

    printf("i = %d", i);

    for(i = 0; i < 10; i++)
       printf("\nv[%d] = %d", i, v[i]);

    return 0;
}
```

equivale a `*(v+i)++`
il + tra intero e puntatore:
i) commuta,
ii) viene interpretato come uno salto di indirizzo
Quindi `i[v]++` equivale a `v[i]++`

Struct e puntatori

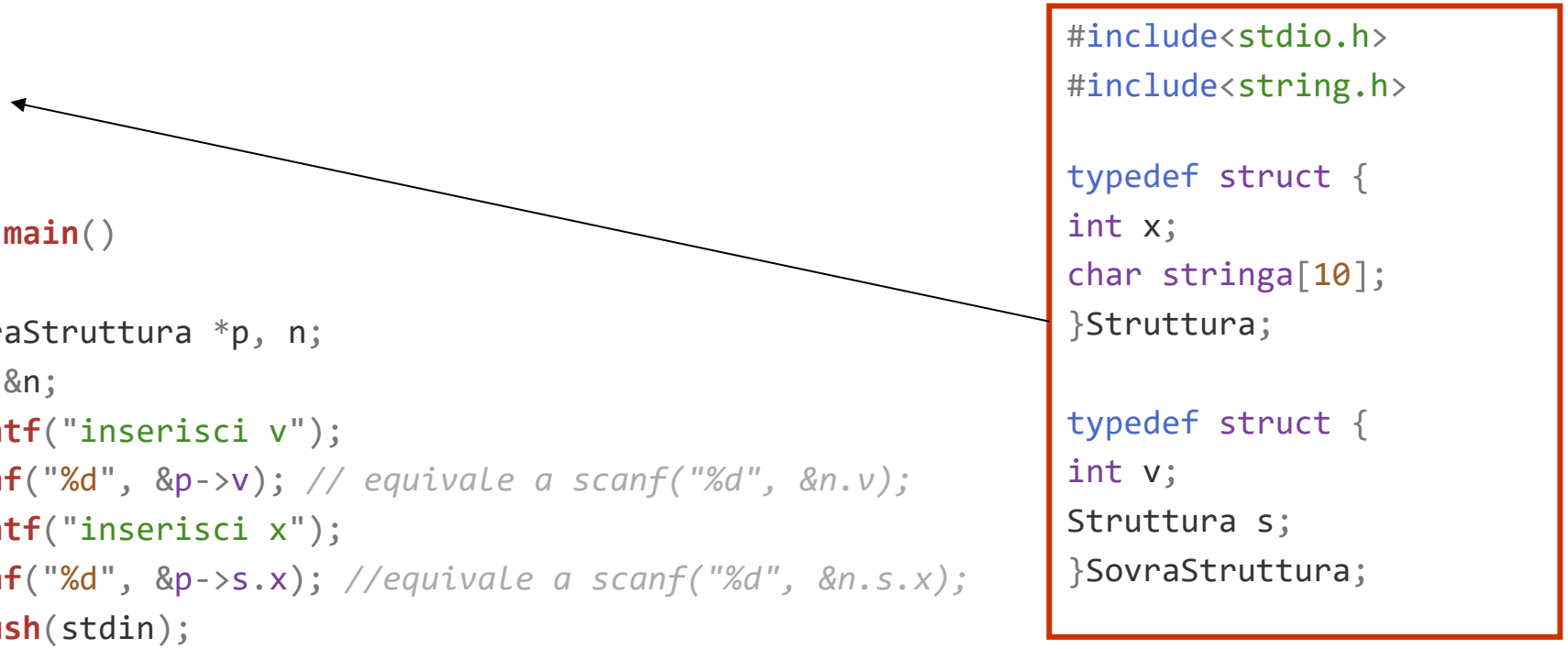
```
typedef struct {
    int    PrimoCampo;
    char   SecondoCampo;
} TipoDato;
TipoDato t;
TipoDato * p = &t;
```

Sintassi per accedere ai campi di una struct tramite un puntatore p

```
p->PrimoCampo   = 12;
(*p).PrimoCampo = 12;
```

} *equivalenti*

Come accedere ai campi di una struttura tramite puntatori



```c
#include<stdio.h>
#include<string.h>

typedef struct {
int x;
char stringa[10];
}Struttura;

typedef struct {
int v;
Struttura s;
}SovraStruttura;
```

```c
int main()
{
SovraStruttura *p, n;
p = &n;
printf("inserisci v");
scanf("%d", &p->v); // equivale a scanf("%d", &n.v);
printf("inserisci x");
scanf("%d", &p->s.x); //equivale a scanf("%d", &n.s.x);
fflush(stdin);
printf("inserisci stringa");
scanf("%s", p->s.stringa); //scanf("%d", n.s.stringa);

printf("\ncon punt:\np->v = %d, p->s.x = %d, p->s.stringa = %s", p->v, p->s.x, p->s.stringa);
printf("\ncon var :\nn.v = %d, n.s.x = %d, n.s.stringa = %s", n.v, n.s.x, n.s.stringa);
return 0 ;
}
```

Esempi di dichiarazioni

```
typedef TipoDato *TipoPuntatore;
typedef AltroTipoDato *AltroTipoPuntatore;

TipoPuntatore P, Q;
AltroTipoPuntatore P1, Q1;
TipoDato x, y;
AltroTipoDato z, w;
```

Esempi di dichiarazioni

```
typedef TipoDato *TipoPuntatore;
typedef AltroTipoDato *AltroTipoPuntatore;

TipoPuntatore P, Q;
AltroTipoPuntatore P1, Q1;
TipoDato x, y;
AltroTipoDato z, w;
```

```
Q1 = &z;
P = &x;
P = Q;
*P = *Q;
```

Doppi Puntatori

```
typedef TipoDato *TipoPuntatore;
typedef AltroTipoDato *AltroTipoPuntatore;

TipoDato *punt;
TipoDato **doppioPunt; /* doppioPunt punta a un
                          puntatore a TipoDato */
TipoPuntatore P, Q;
AltroTipoPuntatore P1, Q1;
TipoDato x, y;
AltroTipoDato z, w;
```

Doppi Puntatori

```
typedef TipoDato *TipoPuntatore;
typedef AltroTipoDato *AltroTipoPuntatore;

TipoDato *punt;
TipoDato **doppioPunt; /* doppioPunt punta a un
                          puntatore a TipoDato */
TipoPuntatore P, Q;
AltroTipoPuntatore P1, Q1;
TipoDato x, y;
AltroTipoDato z, w;
```

```
punt = &y;
doppioPunt = &P;
y = **doppioPunt
```

Doppi Puntatori

```
typedef TipoDato *TipoPuntatore;
typedef AltroTipoDato *AltroTipoPuntatore;

TipoDato *punt;
TipoDato **doppioPunt; /* doppioPunt punta a un
                          puntatore a TipoDato */
TipoPuntatore P, Q;
AltroTipoPuntatore P1, Q1;
TipoDato x, y;
AltroTipoDato z, w;
```

```
*punt = x;
P = *doppioPunt;
z = *P1;
punt = P;
```

Doppi Puntatori

```
typedef TipoDato *TipoPuntatore;
typedef AltroTipoDato *AltroTipoPuntatore;

TipoDato *punt;
TipoDato **doppioPunt; /* doppioPunt punta a un
                          puntatore a TipoDato */
TipoPuntatore P, Q;
AltroTipoPuntatore P1, Q1;
TipoDato x, y;
AltroTipoDato z, w;
```

ERRORI (tipi non rispettati):

```
P1 = P;
w = *P;
*doppioPunt = y;
punt = doppioPunt;
*P1 = *Q;
```

Esempi di istruzioni

CORRETTE

```
punt = &y;
doppioPunt = &P;
y = **doppioPunt
Q1 = &z;
P = &x;
P = Q;
*P = *Q;
*punt = x;
P = *doppioPunt;
z = *P1;
punt = P;
```

SCORRETTE

```
P1 = P;
w = *P;
*doppioPunt = y;
punt = doppioPunt;
*P1 = *Q;
```

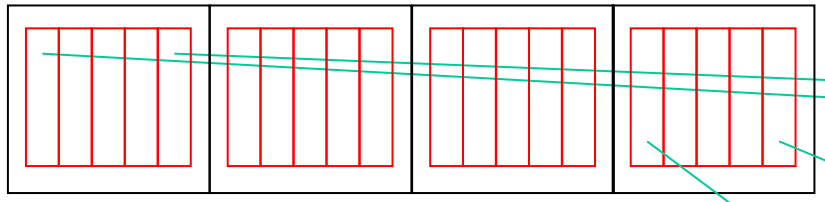
Array multidimensionali

Dobbiamo pensare agli

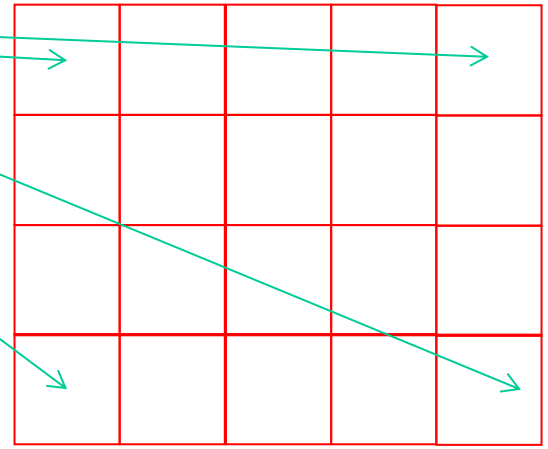
- array 2D come array 1D i cui elementi sono array 1D
- array N-D come array 1D i cui elementi sono array (N-1)D

```
typedef  int Vettore[5];
```

```
typedef  Vettore Matrice4Per5[4];
```



```
Matrice4Per5 matrice1;
```



L'i-simo elemento del vettore contiene un puntatore al vettore contenente i valori dell'i-sima riga

Matrici e Doppi puntatori

Il calcolo dello **spiazzamento nelle matrici** richiede di conoscere le dimensioni intermedie

- `Tipo m[R][C];` /*N.B.: R righe, C colonne*/
- `m[i][j]` → accesso al j-esimo elemento della i-esima riga

Per come rappresento un vettore, risulta che la matrice viene salvata mediante un **doppio puntatore**

- `m[i][j]` ≡ `*( *(m + i) + j )`
- `&m[i][j]` ≈ m + **C**·i + j

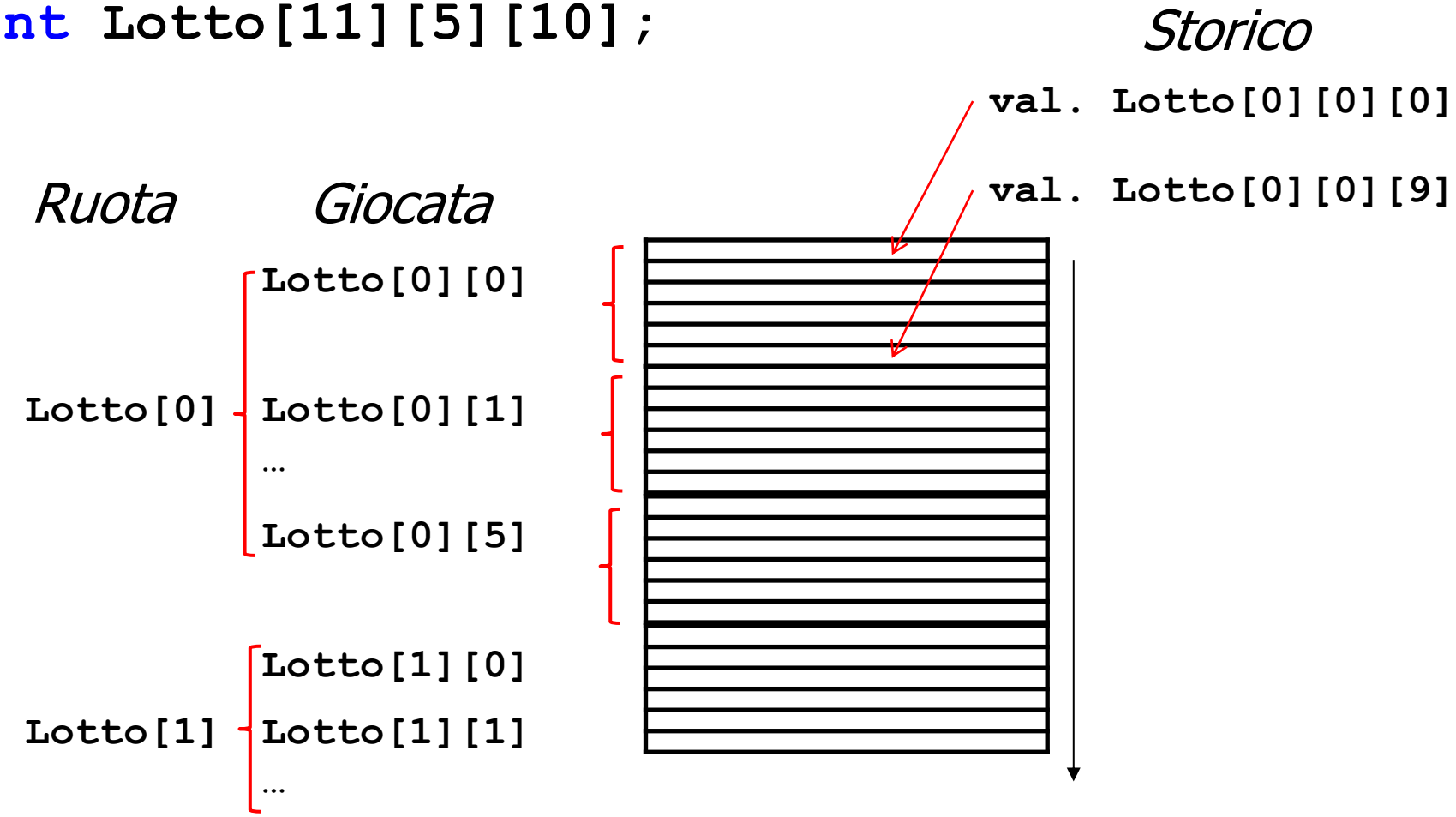
Serve conoscere sia la dimensione del tipo sia il numero di colonne (`sizeof(Tipo)` e `C`; *la "altezza"* `R` *non serve*)

OSS: non serve conoscere le dimensioni effettive (cioè la parte piena dell'array) ma quelle reali (con cui è definita)

Mappa di Memorizzazione di array 3D

Definire un tipo di dato atto a contenere i numeri estratti nelle ultime 10 giocate su tutte le 11 ruote (vengono estratti 5 numeri per giocata)

```
typedef int Lotto[11][5][10];
```



Array multidimensionali

Sugli array multidimensionali utilizzeremo puntatori a puntatori…a puntatori

- **`Tipo p[X][Y][Z]`**
- **`p[i][j][k]`** ≡ **`*(*(*(p+i)+j)+k)`**
- **`&p[i][j][k]`** ≈ p + **Y**·**Z**·i + **Z**·j + k

serve conoscere dimensione del tipo, altezza e larghezza (**`sizeof(Tipo)`**, **`Y`** e **`Z`**; *la "profondità"* **`X`** *non serve*)

Tipi e memoria occupata

- Le variabili occupano in memoria un numero di parole che dipende dal tipo
- Sono allocate in parole di memoria consecutive
- L'operatore **`sizeof()`** dà il numero di byte occupati da un tipo (o da una variabile):

```
double A[5], *p;

sizeof(A[2]) →   8
sizeof(A)    →  40
sizeof(p)    →   4
```

```c
#include<stdio.h>
int main(){
    int **p, *q, i = 9;
    int vet[10], mat[10][10];
    char c = '0';
    double d = 0.0, *pd;

    p = &q;
    q = &i;
    printf("**p=%d, *q=%d, i=%d", **p, *q, i);

    printf("\nsizeof(c) = %d", sizeof(c));
    printf("\nsizeof(i) = %d", sizeof(i));
    printf("\nsizeof(d) = %d", sizeof(d));
    printf("\nsizeof(vet) = %d", sizeof(vet));
    printf("\nsizeof(mat) = %d", sizeof(mat));
    printf("\nsizeof(p) = %d", sizeof(p));
    printf("\nsizeof(q) = %d", sizeof(q));
    printf("\nsizeof(pd) = %d", sizeof(pd));
    return 0;
}
```

L'operatore `sizeof`

```
"C:\Users\Giacomo Boracchi\Google Drive\Didattica\2018_Informatica_A\Lez11\puntatori_doppi.exe"
il **p = 9, *q = 9, i = 9
sizeof(c) = 1
sizeof(i) = 4
sizeof(d) = 8
sizeof(vet) = 40
sizeof(mat) = 400
sizeof(p) = 4
sizeof(q) = 4
sizeof(pd) = 4
Process returned 0 (0x0)   execution time : 0.105 s
Press any key to continue.
```

- Le dimensioni in memoria dipendono dal tipo della variabile
- Le dimensioni dei puntatori (e doppi puntatori) sono quelle della singola cella, indipendentemente dal loro tipo
- Le dimensioni dei vettori contengono tutte le celle allocate per l'array