CORSO DI PROGRAMMAZIONE
A.A. 2014-15

Dispensa 12

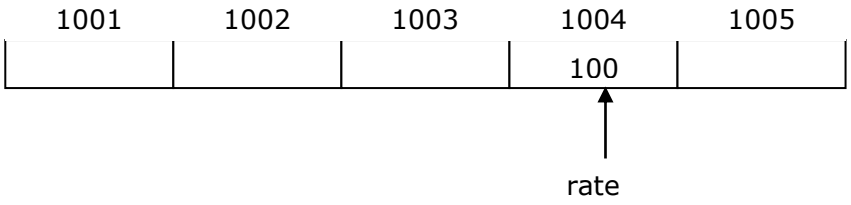
Laboratorio

Dott. Mirko Ravaioli
e-mail: mirko.ravaioli@unibo.it

12.1 I Puntatori

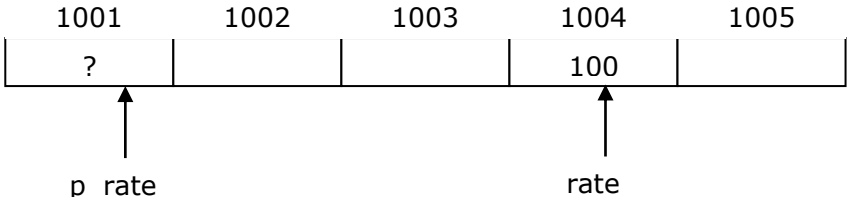
12.1.1 La memoria del computer

La memoria RAM di un PC consiste di molte migliaia di locazioni di memoria sequenziali, ciascuna identificata da un indirizzo unico. Questi indirizzi sono compresi tra 0 e un massimo che dipende dalla quantità di memoria installata.
Quando si utilizza un computer, il sistema operativo occupa una parte di questa memoria. Quando si avvia un programma, il suo codice (ovvero le sue istruzioni in linguaggio macchina) e i suoi dati (ovvero le informazioni che il programma sta elaborando) occupano delle altre zone di questa memoria.
Quando si dichiara una variabile in un programma in C, il compilatore riserva una locazione di memoria puntata da un indirizzo in modo da immagazzinarvi in seguito un valore di una variabile. Quindi, in effetti, il compilatore associa un indirizzo al nome della variabile stessa. Quando il programma utilizza il nome di quella variabile, accede automaticamente alla locazione di memoria relativa. In questa operazione viene utilizzato l'indirizzo della locazione di memoria, ma esso viene nascosto all'utente perché in genere non lo interessa. La figura riportata sotto mostra questo procedimento in maniera schematica: viene dichiarata e inizializzata al valore 100 una variabile di nome "rate". Il compilatore ha riservato per tale variabile una locazione di memoria che parte dall'indirizzo 1004 e ha associato al nome "rate" l'indirizzo 1004.

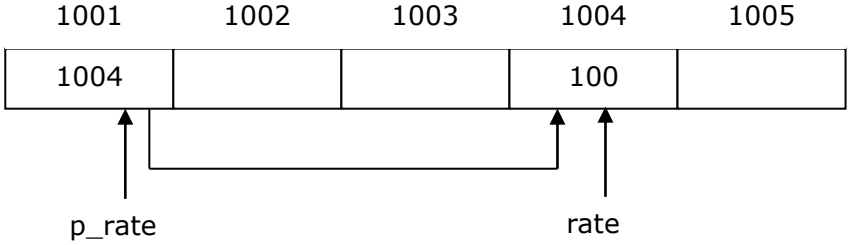


12.1.2 Creazione di un puntatore

Si sarà notato che l'indirizzo della variabile "rate"(e qualsiasi altra variabile) è un numero che, in quanto tale può essere gestito dalle istruzioni C. Se si conosce l'indirizzo di una variabile è possibile creare una nuova variabile che lo contenga. Il primo passo è quello di dichiarare la variabile che conterrà l'indirizzo di "rate". Le si da il nome "p_rate" ad esempio. All'inizio questa variabile non è inizializzata; le è stato riservato uno spazio in memoria, ma il valore al suo interno è indeterminato.



Il passo successivo è quello di memorizzare l'indirizzo della variabile "rate" nella variabile "p_rate". Dato che a quel punto la variabile "p_rate" contiene l'indirizzo di "rate". La prima variabile indicherà la posizione di memoria dov'è stata dislocata "rate".



In C si adotta una terminologia particolare e si dice che "p_rate punta a rate", oppure che "p_rate" è un puntatore a "rate". In fine un puntatore è una variabile che contiene l'indirizzo di un'altra variabile.

12.1.3 Dichiarazioni di puntatori

Nell'esempio prima descritto, il puntatore puntava ad una variabile scalare (non ad un array).
I puntatori sono variabili numeriche, e come tali, devono essere dichiarati prima dell'uso, I nomi dei puntatori seguono le stesse regole di quelli delle altre variabili e devono essere unici. Come convenzione negli esercizi che vedremo e a lezione, adotteremo che un puntatore a una variabile di nome "nome" verrà chiamato "p_nome". Questo non è assolutamente richiesto dal C; per il compilatore i puntatori possono chiamarsi in qualsiasi modo (rispettando comunque le regole del linguaggio).
La dichiarazione di un puntatore ha il formato seguente:

```
tipovariabile   *numepuntatore;
```

"tipovariabile" è un qualsiasi tipo di variabile riconosciuto dal C e indica il tipo della variabile cui punta il puntatore. L'asterisco (*) è detto **operatore di rinvio** e indica che "nomepuntatore" è un puntatore di tipo "tipovariabile".
I puntatori possono essere dichiarati assieme alle altre variabili. Ecco alcuni esempi:

```
char *ch1, *ch2;  /*ch1 e ch2 sono entrambi puntatori al tipo char
float *valore, percento;    /* valore è un puntatore al tipo float,
                               e percento è una normale variabile
                               float*/
```

Il simbolo * viene utilizzato sia come operatore di rinvio sia come operatore aritmetico per la moltiplicazione. Non c'è da preoccuparsi che il compilatore si confonda, poiché il contesto in cui si trova il simbolo fornisce abbastanza informazioni da distinguere i due diversi tipi di utilizzo.

12.1.4 Inizializzazione dei puntatori

I puntatori sono inutili finché non li si fa puntare a qualche cosa. Come per le variabli normali, è possibile utilizzare puntatori non inizializzati ottenendo risultati imprevedibili e potenzialmente disastrosi. Gli indirizzi non vengono inseriti nei puntatori per magia, è il programma che si deve occupare di inserirveli utilizzando questa volta **l'operatore di indirizzo** di "e" commerciale (&).
Questo viene posto prima del nome di una variabile, questo operatore ne restituisce l'indirizzo. Perciò è possibile inizializzare un puntatore con un'istruzione del tipo:

```
puntatore = &variabile;
```

Se torniamo all'esempio di prima della variabile "rate"; l'istruzione che inizializzava la variabile "p_rate" in modo che punti a "rate" potrebbe essere scritta come:

```
p_rate = &rate;
```

12.1.5 Uso dei puntatori

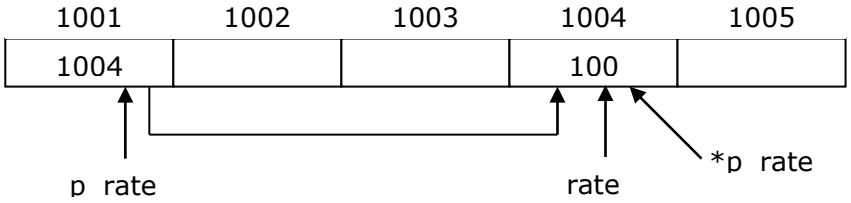
L'operatore di rinvio (*) torna in azione quando questo precede il nome di un puntatore, in questo caso il programma di riferisce alla variabile puntata. Si prenda l'esempio precedete, in cui il puntatore "p_rate" è stato impostato in modo da puntare alla variabile "rate". Scrivendo *p_rate ci si riferisce alla variabile "rate". Se si vuole stampare il valore contenuto in "rate" (che nell'esempio era 100) si ha la possibilità di scrivere:

```
printf("%d", rate);
```

oppure

```
printf("%d", *p_rate);
```

In C queste due istruzioni sono equivalenti. L'accesso al contenuto di una variabile utilizzando il suo nome si chiama **accesso diretto**, mentre quando si utilizza un puntatore si parla di **accesso indiretto** o **rinvio**.



Se si ha un puntatore di nome *ptr* inizializzato in modo da puntare alla variabile *var*, le frasi seguenti sono vere:

- **ptr* e *var* si riferiscono entrambe al contenuto do *var* (cioè a qualsiasi valore il programma abbia memorizzato in quella locazione)
- *ptr* e *&var* si riferiscono entrambe all'indirizzo di *var*

Un puntatore non preceduto dall'operatore di rinvio viene valutato per il suo contenuto, che è logicamente l'indirizzo della variabile puntata. Vediamo un esempio di un programma:

```
#include <stdio.h>

/*dichiara e inizializza una variabile di tipo int*/
int var = 1;

/*dichiara un puntatore a int*/
int *ptr;

main()
{
      /*inizializza ptr in modo che punti a var*/
      ptr = &var;

      /*si accede a var in modo diretto e indiretto*/
      printf("\nAccesso diretto, var = %d",var);
      printf("\nAccesso indiretto, var = %d",*ptr);

      /*mostriamo l'indirizzo di var in due modi*/
      printf("\n\nIndirizzo di var =  %d",&var);
      printf("\nIndirizzo di var =  %d",ptr);

      return 0;
}
```

Ecco l'output del programma :

```
Accesso diretto, var = 1
Accesso indiretto, var = 1

Indirizzo di var = 4264228
Indirizzo di var = 4264228
```

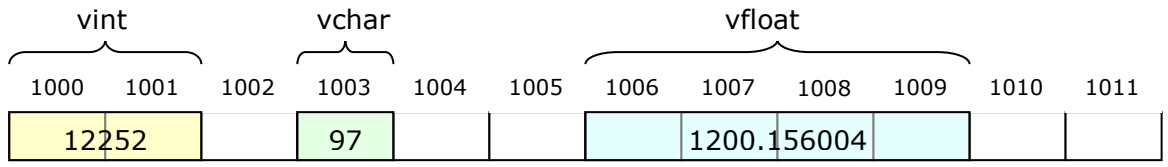
E' molto probabile che sul sistema del lettore l'indirizzo di var non sia 4264228!!

12.1.6 Puntatori e tipi di variabili

La trattazione di prima ha ignorato volutamente il fatto che diversi tipi di variabili occupano diversi quantitativi di memoria. Nella maggior parte dei sistemi operativi per PC, un int occupa 2 byte, un float 4 byte e così via. Ogni singolo byte di memoria ha un proprio indirizzo, per cui una variabile che impiega più byte occupa diversi indirizzi.
Come si comportano i puntatori nel caso di variabili di più byte? L'indirizzo di una variabile è l'indirizzo del primo (o più basso) byte che essa occupa. Questo può essere illustrato con un esempio; si supponga di dichiarare e inizializzare le tre variabili seguenti:

```
int vint = 12252;
char vchar = 'a';   /*ovviamente in memoria troveremo il codice ASCII del
                       carattere*/
float vfloat = 1200.156004;
```

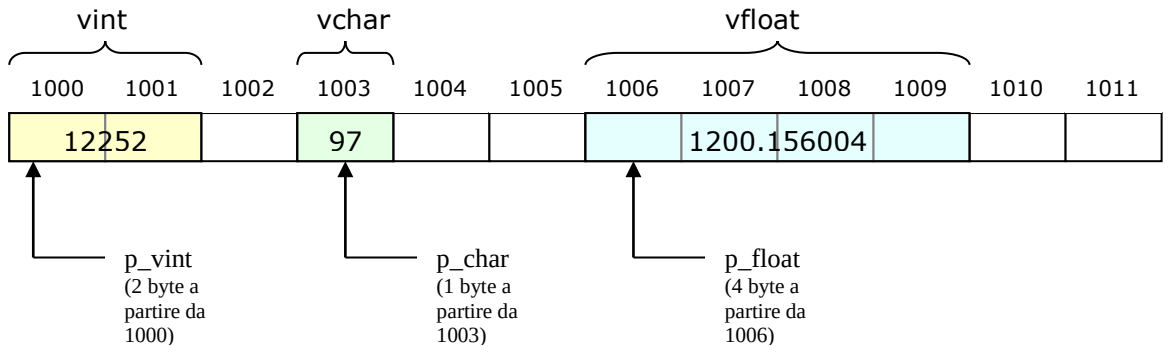
Queste variabili vengono memorizzate come nella figura riportata sotto: la variabile int occupa 2 byte, la char ne occupa uno solo e la float quattro.



Ora dichiariamo e inizializziamo i puntatori a queste variabili:

```
int *p_vint;
char *p_vchar;
float *p_vfloat;
p_vint = &vint;
p_vchar = &vchar;
p_vfloat = &vfloat;
```

Ogni puntatore contiene l'indirizzo del primo byte della variabile puntata, perciò "p_vint" vale 1000, "p_char" vale 1003 e "p_float" vale 1006. Si ricordi però che ogni puntatore è stato dichiarato in modo da puntare un certo tipo di variabile. Il compilatore sa che un puntatore a un int contiene l'indirizzo del primo di due byte, che un puntatore a un float contiene l'indirizzo del rimo di quattro byte e così via.



12.1.7 Puntatori e array

I puntatori possono essere molto utili quando si lavora con variabili scalari, ma sono di sicuro più utili con gli array. C'è una relazione particolare tra puntatori e array in C, infatti quando si utilizza la notazione con gli indici degli array tra parentesi quadre si stanno utilizzando dei puntatori senza neanche saperlo.
Il nome di un array senza parentesi quadre è un puntatore al primo elemento dell'array. Perciò se si è dichiarato un array di nome data[], "data" è l'indirizzo del primo elemento dell'array.
Ma non si era detto che per avere un indirizzo è necessario l'operatore &? In effetti è possibile utilizzare anche l'espressione &data[0] per ottenere l'indirizzo del primo elemento dell'array. In C la relazione (data == &data[0]) è sempre vera. In pratica il nome di un array non è altro che un puntatore all'array stesso. Si tenga però presente che viene visto come una costante: non può essere modificato e rimane fisso per tutta la durata del programma. Eè tuttavia possibile dichiarare un altro puntatore e d inizializzarlo in maniera che punti all'array. Ad esempio il codice seguente inizializza il puntatore "p_array" all'indirizzo del primo elemento dell'array:

```
int array[1000], *p_array;
p_array = array;
```

Dato che "p_array" è un puntatore variabile, può essere modificato e può puntare ovunque. A differenza di "array", "p_array" non è costretto a puntare al primo elemento di array[].

12.1.8 Aritmetica dei puntatori

Quando si ha un puntatore al primo elemento di un array, questo deve essere incrementato del numero di byte necessario per il tipo di dato contenuto nell'array. Per fare questo tipo di operazione viene utilizzata l'*aritmetica dei puntatori*.

Incrementando un puntatore, si incrementa il suo indice. Ad esempio, quando si incrementa un puntatore di un unità, l'aritmetica dei puntatori incrementa automaticamente l'indirizzo contenuto nel puntatore in modo che punti all'elemento successivo dell'array considerato. In altre parole il C conosce (dalla dichiarazione) il tipo di dato puntato dal puntatore e incrementa l'indirizzo in base alla sua dimensione. Si supponga che "ptr_to_int" sia un puntatore a un elemento di un array di dtipo int, Con l'istruzione:

```
ptr_to_int++;
```

il valore di "ptr_to_int" viene incrementato della dimensione del tipo int, generalmente 2 byte, per cui ptr_to_int nel momento immediatamente successivo all'istruzione punta all'elemento seguente.
Aggiungendo *n* ad un puntatore, il C incrementa l'indirizzo contenuto al suo interno del numero di byte necessari per puntare all'elemento dell'array che segue di *n* posizioni. Perciò:

```
ptr_to_int += 4;
```

incrementa il valore contenuto in "ptr_to_int" di 8 (sempre supponendo che un int sia lungo 2 byte).

Gli stessi concetti appenda descritti per l'incremento valgono anche per il decremento di puntatori, che equivale all'aggiunta di un valore negativo e, in quanto tale, ricade nell'ambito degli incrementi.
Vediamo un esempio di utilizzo dell'aritmetica dei puntatori per accedere agli elementi di un array:

```
#include <stdio.h>

#define MAX 10

/*dichiaro e inizializzo un array di interi*/
```

```
int i_array[MAX] = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9};

/*dichiaro un puntatore a int e una variabile int*/

int *i_ptr, count;

/*dichiaro e inizializzo un puntatore a float*/

float f_array[MAX] = {0.0,0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9};

/*dichiaro un puntatore a float */

float *f_ptr;

main()
{
      /*inizializzo i puntatori*/
      i_ptr = i_array;
      f_ptr = f_array;

      /*Stampo gli elementi dell'array*/

      for (count = 0; count < MAX; count++)
            printf("%d\t%f\n",*i_ptr++,*f_ptr++)

      return 0;
}
```

Ecco l'output del programma

```
0     0.000000
1     0.100000
2     0.200000
3     0.300000
4     0.400000
5     0.500000
6     0.600000
7     0.700000
8     0.800000
9     0.900000
```

L'ultima operazione consentita dall'aritmetica dei puntatori è la cosiddetta *differenziazione* ovvero la sottrazione tra due puntatori. Se si hanno due puntatori che puntano a due differenti elementi dello stesso array, è possibile sottrarli per sapere quanto distano l'uno dall'altro. Ancora un avolta l'aritmetica dei puntatori adatta la risposta in maniera automatica in modo da riferirsi agli elementi dell'array. Quindi se ptr1 e ptr2 puntano a due elementi dello stesso array (di qualsiasi tipo), l'espressione seguente fornisce la distanza tra gli e elementi stessi:

```
ptr1 – ptr2;
```

I confronti tra i puntatori sono validi solo quando tutti puntano allo stesso array. Sono queste condizioni, gli operatori relazionali ==, !=, <, >, >=, <= funzionano correttamente.
Gli elementi inferiori degli array (cioè quelli con indice minore) hanno sempre indirizzi inferiori; perciò se ptr1 e ptr2 puntano a elementi dello stesso array il confronto:

```
ptr1 < ptr2
```

è vero se ptr1 punta a un elemento dell'array che precede quello puntato da ptr2.

Molte operazioni aritmetiche tra variabili normali non avrebbero senso con i puntatori e il compilatore non li permette. Ad esempio se ptr è un puntatore l'istruzione seguente:

```
ptr *= 2;
```

genera un messaggio di errore.

12.1.9 Precauzioni per i puntatori

Nella scrittura di un programma che impiega i puntatori è necessario evitare un errore molto serio: l'utilizzo di un puntatore non inizializzato sul lato sinistro di un'istruzione di assegnamento. Ad esempio l'istruzione che segue dichiara un puntatore di tipo int:

```
int *ptr;
```

Questo puntatore non è ancora inizializzato, quindi non punta a nulla. Per essere precisi non punta a nulla di conosciuto. Un puntatore non inizializzato punta a un certo valore che tuttavia non è dato a conoscere a priori. In molti casi questo valore è zero. Se si utilizza un puntatore non inizializzato in un'istruzionedi assegnamento, ad esempio:

```
*ptr = 12;
```

il valore 12 viene assegnato alla locazione di memoria puntata da ptr, qualunque essa sia. Questo indirizzo può essere in qualsiasi punto della memoria, nella parte relativa al sistema operativo o dove è stato caricato lo stesso programma. Il valore 12 può aver sovrascritto qualche dato importante e può provocare strani errori o blocchi della macchina.
Il lato sinistro di un'istruzione è il posto più pericoloso dove utilizzare puntatori non inizializzati. Quindi assicurarsi sempre che i puntatori siano inizializzati prima di utilizzarli.

Esempi utilizzo puntatori

Esempio 1

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
	int A, B;
	int *ptr;

	A = 10;
	B = A;
	ptr = &A;
	printf("Prima di modificare A:\n");
	printf("A = %d \n",A);
	printf("B = %d \n",B);
	printf("*ptr = %d \n",*ptr);

	A = 35;
	printf("Dopo la modifica di A:\n");
	printf("A = %d \n",A);
	printf("B = %d \n",B);
	printf("*ptr = %d \n",*ptr);

	*ptr = 17;
	printf("Dopo la modifica di *ptr:\n");
	printf("A = %d \n",A);
	printf("B = %d \n",B);
	printf("*ptr = %d \n",*ptr);

	return 0;
}
```

Output del programma:

```
Prima di modificare A:
A = 10
B = 10
*ptr = 10

Dopo la modifica di A:
A = 35
B = 10
*ptr = 35

Dopo la modifica di *ptr:
A = 17
B = 10
*ptr = 17
```

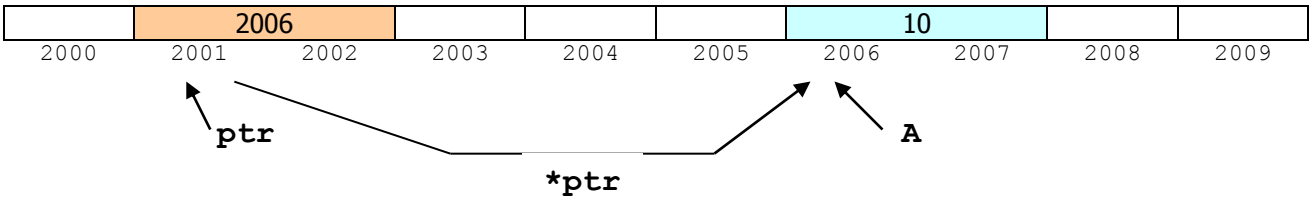
Scrivere l'istruzione B = A significa associare alla variabile B lo stesso valore della variabile A, quindi creare una copia del valore presente in A e salvarlo all'interno della variabile B. Tutte le modifiche fatte alla variabile A non verranno sentite dalla variabile B la quale manterrà il valore invariato e viceversa. Scrivere ptr = &A

significa associare al puntatore ptr l'indirizzo di memoria della variabile A, quindi attraverso il puntatore possiamo accedere all'area di memoria in cui è memorizzata la variabile A e modificarne il valore. In questo secondo caso non si creano copie.

Esempio 2

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
	int A;
	int *ptr;

	A = 17;
	ptr = &A;

	printf("%d \n",A); //valore presente dentro alla variabile A
	printf("%d \n",&A); //indirizzo di memoria della variabile A
	printf("%d \n",ptr); //contenuto della variabile ptr, (indirizzo di A)
	printf("%d  \n",*ptr);  /*valore  presente  all'interno  della  cella  con
indirizzo in ptr, quindi il valore di A*/
	printf("%d \n",&ptr); //indirizzo di memoria della variabile ptr


	return 0;
}
```

Considerando il seguente stato della memoria (supponendo che un intero occupi 2 byte in memoria):



L'output del programma è:

```
10
2006
2006
10
2001
```

Esempio 3

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
	int elenco[5] = {3,14,7,89,10};
```

```
      printf("%d \n",elenco); //indirizzo di memoria della prima cella
      printf("%d \n",elenco[0]); //valore della prima cella, quindi 3
      printf("%d \n",*elenco); //valore della prima cella, quindi 3

      return 0;
}
```

Il nome di un array senza parentesi quadre corrisponde al puntatore alla prima cella di memoria allocata per memorizzare l'array stesso. Quindi considerando l'esempio riportato sopra, stampando il valore di elenco (senza le parentesi quadre) si ottiene l'indirizzo di memoria della prima cella allocata, stampando invece il valore di `*elenco` si ottiene lo stesso valore stampato con `elenco[0]`, quindi utilizzando l'aritmetica dei puntatori possiamo accedere alle varie celle dell'array:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
      int elenco[5] = {3,14,7,89,10};
      int i;

      for (i = 0; i < 5 i++)
            printf("\t%d  \t%d\n",elenco[i],*(elenco+i));

      return 0;
}
```

Questo è possibile in quanto le celle riservate in memoria per un array sono tutte consecutive. Lo stesso discorso potrebbe essere fatto per una matrice o array multidimensionale:

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
      int matrice[3][2] = {1,2,3,4,5,6};
      int i, j;

      for (i = 0; i < 3; i++)
            for (j = 0; j < 2; j++)
                  printf("\t%d\t %d\n",matrice[i][j],*(*(matrice+i)+j));

      return 0;
}
```

Esempio 4

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main()
{
```

```
	int elenco[5] = {1,1,1,1,1};
	int valori[5] = {2,2,2,2,2};
	int numeri[5] = {3,3,3,3,3};
	int i;
	int *ptr;

	printf("Prima di modificare:\n");
	for (i = 0; i < 5; i++)
		printf("\t%d \t%d \t%d",elenco[i],valori[i],numeri[i]);

	ptr = valori;
	for (i = 0; i < 5; i++)
		*(ptr + i) = i*2;

	printf("Dopo la modifica:\n");
	for (i = 0; i < 5; i++)
		printf("\t%d \t%d \t%d",elenco[i],valori[i],numeri[i]);


	return 0;
}
```

Output del programma:

```
Prima di modificare:
	1	2	3
	1	2	3
	1	2	3
	1	2	3
	1	2	3

Dopo la modifica:
	1	0	3
	1	2	3
	1	4	3
	1	6	3
	1	8	3
```

Attraverso ptr andiamo a modificare i valori del secondo vettore, il blocco di istruzioni:

```
for (i = 0; i < 5; i++)
	*(ptr + i) = i*2;
```

funziona per qualsiasi vettore associato a ptr