# Istruzioni iterative

**Esempio:** Leggere 5 interi, calcolarne la somma e stamparli.

- Variante non accettabile: 5 variabili, 5 istruzioni di lettura, 5 ...

```
int i1, i2, i3, i4, i5;
scanf("%d", &i1):
...
scanf("%d", &i5);
printf("%d", i1 + i2 + i3 + i4 + i5);
```

- Variante migliore che utilizza solo 2 variabili:

```
int somma, i;
somma = 0;
scanf("%d", &i);
somma = somma + i;
...            /* per 5 volte */
scanf("%d", &i);
somma = somma + i;
printf("%d", somma);
```

$\Longrightarrow$ conviene però usare un'istruzione iterativa

# Iterazione determinata e indeterminata

- Le istruzioni iterative permettono di ripetere determinate azioni più volte:
  - un numero di volte fissato $\Longrightarrow$ iterazione determinata
    **Esempio:**
    ```
    fai un giro del parco di corsa per 10 volte
    ```
  - finchè una condizione rimane vera $\Longrightarrow$ iterazione indeterminata
    **Esempio:**
    ```
    finche' non sei sazio
    prendi una ciliegia dal piatto e mangiala
    ```

# Istruzione **while**

Permette di realizzare l'iterazione in C.

**Sintassi:**

```
while (espressione)
      istruzione
```

- `espressione` è la guardia del ciclo
- `istruzione` è il corpo del ciclo (può essere un blocco)

**Semantica:**

1. viene valutata l'`espressione`
2. se è vera si esegue `istruzione` e si torna ad eseguire l'intero `while`
3. se è falsa si termina l'esecuzione del `while`

- Nota: se `espressione` è falsa all'inizio, il ciclo non fa nulla.

# Iterazione determinata

**Esempio:** Stampa 100 asterischi.

- Si utilizza un contatore per contare il numero di asterischi stampati.

  **Algoritmo:** `stampa di 100 asterischi`
  `inizializza il contatore a 0`
  **while** `il contatore è minore di 100`
  `{ stampa un ‘‘*’’`
  `incrementa il contatore di 1 }`

- Implementazione:

```
int i;
i = 0;
while (i < 100) {
  putchar('*');
  i = i + 1;
}
```

- come già sappiamo, la variabile `i` viene detta variabile di controllo del ciclo.

# Iterazione determinata

**Esempio:** Leggere 10 interi, calcolarne la somma e stamparla.

- Si utilizza un contatore per contare il numero di interi letti.

```
int conta, dato, somma;
printf("Immetti 10 interi:  ");
somma = 0;
conta = 0;
while (conta < 10) {
  scanf("%d", &dato);
  somma = somma + dato;
  conta = conta + 1;
}
printf("La somma e' %d\n", somma);
```

**Esempio:** Leggere un intero N seguito da N interi e calcolare la somma di questi ultimi.

- Simile al precedente: il numero di ripetizioni necessarie non è noto al momento della scrittura del programma ma lo è al momento dell'esecuzione del ciclo.

```
int lung, conta, dato, somma;
printf("Immetti la lunghezza della sequenza ");
printf("seguita dagli elementi della stessa:  ");
scanf("%d", &lung);
somma = 0;
conta = 0;
while (conta < lung) {
  scanf("%d", &dato);
  somma = somma + dato;
  conta = conta + 1;
}
printf("La somma e' %d\n", somma);
```

**Esempio:** Leggere 10 interi positivi e stamparne il massimo.

- Si utilizza un massimo corrente con il quale si confronta ciascun numero letto.

```
int conta, dato, massimo;
printf("Immetti 10 interi:  ");
massimo = 0;
conta = 0;
while (conta < 10) {
  scanf("%d", &dato);
  if (dato > massimo)
    massimo = dato;
  conta = conta + 1;
}
printf("Il massimo e' %d\n", massimo);
```

**Esercizio**

Leggere 10 interi arbitrari e stamparne il massimo.

# Istruzione **for**

- I cicli visti fino ad ora hanno queste caratteristiche comuni:
  - utilizzano una variabile di controllo
  - la guardia verifica se la variabile di controllo ha raggiunto un limite prefissato
  - ad ogni iterazione si esegue un'azione
  - al termine di ogni iterazione viene incrementato (decrementato) il valore della variabile di controllo

**Esempio:** Stampare i numeri pari da 0 a N.

```
i = 0; /* Inizializzazione della var.  di controllo */
while (i <= N) { /* guardia */
  printf("%d ", i); /* Azione da ripetere */
  i=i+2; /* Incremento var.  di controllo */
}
```

- L'istruzione **for** permette di gestire direttamente questi aspetti:

```
for (i = 0; i <= N; i=i+2)
  printf("%d", i);
```

**Sintassi:**

```
for (istr-1; espr-2; istr-3)
  istruzione
```

- `istr-1` serve a inizializzare la variabile di controllo
- `espr-2` è la verifica di fine ciclo
- `istr-3` serve a incrementare la variabile di controllo alla fine del corpo del ciclo
- `istruzione` è il corpo del ciclo

**Semantica:** l'istruzione **for** precedente è equivalente a

```
istr-1;
while (espr-2) {
  istruzione
  istr-3
}
```

**Esempio:**

```
for (i = 1; i <= 10; i=i+1)      ⟹   i: 1, 2, 3, ..., 10
for (i = 10; i >= 1; i=i-1)      ⟹   i: 10, 9, 8, ..., 2, 1
for (i = -4; i <= 4; i = i+2)    ⟹   i: -4, -2, 0, 2, 4
for (i = 0; i >= -10; i = i-3)   ⟹   i: 0, -3, -6, -9
```

- In realtà, la sintassi del **for** è

  ```
  for (espr-1; espr-2; espr-3)
    istruzione
  ```

  dove `espr-1`, `espr-2` e `espr-3` sono delle espressioni qualsiasi (in C anche l'assegnamento è un'espressione ...).
- È buona prassi:
  - usare ciascuna `espr-i` in base al significato descritto prima
  - non modificare la variabile di controllo nel corpo del ciclo
- Ciascuna delle tre `espr-i` può anche mancare:
  - i ";" vanno messi lo stesso
  - se manca `espr-2` viene assunto il valore vero
- Se manca una delle tre `espr-i` è meglio usare un'istruzione **while**

**Esempio:** Leggere 10 interi positivi e stamparne il massimo.

```
int conta, dato, massimo;
printf("Immetti 10 interi:  ");
massimo = 0;
for (conta=0; conta<10; conta=conta+1)
{
  scanf("%d", &dato);
  if (dato > massimo)
    massimo = dato;
}
printf("Il massimo e' %d\n", massimo);
```

# Iterazione indefinita

- In alcuni casi il numero di iterazioni da effettuare non è noto prima di iniziare il ciclo, perché dipende dal verificarsi di una condizione.

  **Esempio:** Leggere una sequenza di interi che termina con 0 e calcolarne la somma.

  **Input**: $n_1, \ldots, n_k, 0$ (con $n_i \neq 0$)

  **Output**: $\sum_{i=1}^{k} n_i$

```
int dato, somma = 0;
scanf("%d", &dato);
while (dato != 0) {
  somma = somma + dato;
  scanf("%d", &dato);
}
printf("%d", somma);
```

# Istruzione **do-while**

- Nell'istruzione **while** la condizione di fine ciclo viene controllata all'inizio di ogni iterazione.
- L'istruzione **do-while** è simile all'istruzione **while**, ma la condizione viene controllata alla fine di ogni iterazione

**Sintassi:**

```
do
  istruzione
while (espressione);
```

**Semantica:** è equivalente a

```
istruzione
while (espressione)
  istruzione
```

$\Longrightarrow$ una iterazione viene eseguita comunque.

**Esempio:** Lunghezza di una sequenza di interi terminata da 0, usando **do-while**.

```
main() {
int lunghezza = 0; /* lunghezza della sequenza */
int dato; /* dato letto di volta in volta */
printf("Inserisci una sequenza di interi (0 fine seq.)\n");
do {
  scanf("%d", &dato);
  lunghezza=lunghezza+1;
} while (dato != 0);
printf("La sequenza e' lunga %d\n", lunghezza - 1);
}
```

- Nota: lo 0 finale non è conteggiato (non fa parte della sequenza, fa da terminatore)

**Esempio:** Leggere due interi positivi e calcolarne il massimo comun divisore.

$$\begin{aligned} MCD(12, 8) &= 4 \\ MCD(12, 6) &= 6 \\ MCD(12, 7) &= 1 \end{aligned}$$

- Sfruttando direttamente la definizione di MCD
  - osservazione: $1 \leq MCD(m,n) \leq min(m,n)$
    $\Longrightarrow$ si provano i numeri compresi tra $1$ e $min(m,n)$
  - conviene iniziare da $min(m,n)$ e scendere verso $1$

**Algoritmo:** stampa MCD di due interi positivi letti da tastiera

```
leggi m ed n
inizializza mcd al minimo tra m ed n
while mcd > 1 e non si e' trovato un divisore comune
{
  if mcd divide sia m che n
    si e' trovato un divisore comune
  else decrementa mcd di 1
}
stampa mcd
```

Osservazioni

- il ciclo termina sempre perché ad ogni iterazione
  - o si è trovato un divisore
  - o si decrementa mcd di 1 (al più si arriva a 1)
- per verificare se si è trovato il MCD si utilizza una variabile booleana (nella guardia del ciclo)
- Implementazione in C . . .

```
int m, n;                /* i due numeri letti */
int mcd;                /* il massimo comun divisore */
int trovato = 0;        /* var. booleana: inizialmente false */
if (m <= n)             /*inizializza mcd al minimo tra m e n*/
  mcd = m;
else
  mcd = n;
while (mcd > 1 && !trovato)
  if ((m % mcd == 0) && (n % mcd == 0))
    /* mcd divide entrambi */
    trovato = 1;
  else
    mcd = mcd -1;
printf("MCD di %d e %d:  %d", m, n, mcd);
```

Quante volte viene eseguito il ciclo?

- caso migliore: 1 volta (quando m divide n o viceversa)
  es. MCD(500, 1000)
- caso peggiore: *min*(m,n) volte (quando MCD(m,n)=1)
  es. MCD(500, 1001)
- l'algoritmo si comporta *male* se m e n sono grandi e MCD(m,n) è piccolo

# Metodo di Euclide per il calcolo del MCD

- Già visto nell'introduzione (pseudo-linguaggio). Permette di ridursi più velocemente a numeri più piccoli, sfruttando le seguenti proprietà:

  MCD(x, x) = x
  MCD(x, y) = MCD(x-y, y) se x>y
  MCD(x, y) = MCD(x, y-x) se y>x

- I divisori comuni di m ed n, con m>n, sono anche divisori di m-n.
  Es.: MCD(12, 8) = MCD(12-8, 8) = MCD(4, 8-4) = 4
- Come si ottiene un algoritmo?
  Si applica ripetutamente il procedimento fino a che non si ottiene che m=n.

**Esempio:**

| m | n | maggiore - minore |
|---|---|---|
| 210 | 63 | 147 |
| 147 | 63 | 84 |
| 84 | 63 | 21 |
| 21 | 63 | 42 |
| 21 | 42 | 21 |
| 21 | 21 | |

## Algoritmo: di Euclide per il calcolo del MCD

```
int m,n;
scanf("%d%d", &m, &n);
while (m != n)
  if (m > n)
    m = m - n;
  else
    n = n - m;

printf("MCD: %d\n", m);
```

- Cosa succede se m=n=0?

  $\Longrightarrow$ il risultato è 0

- E se m=0 e n$\neq$ 0 (o viceversa)?

  $\Longrightarrow$ si entra in un ciclo infinito

- Per assicurarci che l'algoritmo venga eseguito su valori corretti, possiamo inserire una verifica sui dati in ingresso, attraverso un ciclo di lettura

  Proposte?

```
do {
  printf("Immettere due interi positivi:  ");
  scanf("%d%d", &m, &n);
  if (m <= 0 || n <= 0)
    printf("Errore:  i numeri devono essere > 0!\n");
} while (m <= 0 || n<= 0);
```

# Metodo di Euclide con i resti per il calcolo del MCD

- Cosa succede se $m \gg n$?

**Esempio:**

MCD(1000, 2)

| | |
|---|---|
| 1000 | 2 |
| 998 | 2 |
| 996 | 2 |
| ... | |
| 2 | 2 |

MCD(1001, 500)

| | |
|---|---|
| 1001 | 500 |
| 501 | 500 |
| 1 | 500 |
| ... | |
| 1 | 1 |

- Come possiamo comprimere questa lunga sequenza di sottrazioni?
- Metodo di Euclide: sia

$$m = n \cdot k + r \quad (\text{con } 0 \leq r < m)$$

$$\begin{array}{lcll} MCD(m, n) & = & n & \text{se } r=0 \\ MCD(m, n) & = & MCD(r, n) & \text{se } r \neq 0 \end{array}$$

**Algoritmo** di Euclide con i resti per il calcolo del MCD

```
leggi m ed n
while m ed n sono entrambi ≠ 0
{ sostituisci il maggiore tra m ed n con
  il resto della divisione del maggiore per il minore
}
stampa il numero tra i due che e' diverso da 0
```

**Esercizio**

Tradurre l'algoritmo in C

# Cicli annidati

- Il corpo di un ciclo può contenere a sua volta un ciclo.

  **Esempio:** Stampa della tavola pitagorica.

  **Algoritmo**

```
for ogni riga tra 1 e 10
  { for ogni colonna tra 1 e 10
    stampa riga * colonna
  stampa un a capo }
```

- Traduzione in C

```
int riga, colonna;
const int Nmax = 10; /* indica il numero di righe e di
colonne */
for (riga = 1; riga <= Nmax; riga=riga+1) {
  for (colonna = 1; colonna <= Nmax; colonna=colonna+1)
    printf("%d ", riga * colonna);
  putchar('\n'); }
```

# Digressione sulle costanti: la direttiva `#define`

- Nel programma precedente, `Nmax` è una costante. Tuttavia la dichiarazione

  ```
  const int Nmax = 10;
  ```

  causa l'allocazione di memoria (si tratta duna dichiarazione di variabile *read only*)
- C'è un altro modo per ottenere un identificatore costante, che utilizza la direttiva **#define**.

  ```
  #define Nmax 10
  ```
- **#define** è una direttiva di compilazione
- dice al compilatore di sostituire ogni occorrenza di `Nmax` con `10` prima di compilare il programma
- a differenza di **const** non alloca memoria

# Assegnamento e altri operatori

- In C, l'operazione di assegnamento `x = exp` è un'espressione
  - il valore dell'espressione è il valore di `exp` (che è a sua volta un'espressione)
  - la valutazione dell'espressione `x = exp` ha un side-effect: quello di assegnare alla variabile `x` il valore di `exp`
- Dunque in realtà, "=" è un operatore (associativo a destra).
  **Esempio:** Qual'è l'effetto di `x = y = 4` ?
  - È equivalente a: `x = (y = 4)`
  - `y = 4` ... espressione di valore `4` con modifica (side-effect) di `y`
  - `x = (y = 4)` ... espressione di valore `4` con ulteriore modifica su `x`
- L'eccessivo uso di assegnamenti come espressioni rende il codice difficile da comprendere e quindi correggere/modificare.

# Operatori di incremento e decremento

- Assegnamenti del tipo: `i = i + 1` / `i = i - 1` sono molto comuni.
  - operatore di incremento: `++`
  - operatore di decremento: `--`
- In realtà `++` corrisponde a due operatori:
- postincremento: `i++`
  - il valore dell'espressione è il valore di `i`
  - side-effect: incrementa `i` di `1`
- L'effetto di

```
int i,j;
i=6;
j=i++;
```

è j=6, i=7.

- preincremento: `++i`
  - il valore dell'espressione è il valore di `i+1`
  - side-effect: incrementa `i` di `1`
- L'effetto di

```
int i,j;
i=6;
j=++i;
```

è j=7, i=7.

(analogamente per `i--` e `--i`)

- Nota sull'uso degli operatori di incremento e decremento

**Esempio:**

| | Istruzione | x | y | z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | `int x, y, z;` | ? | ? | ? |
| 2 | `x = 4;` | 4 | ? | ? |
| 3 | `y = 2;` | 4 | 2 | ? |
| 4a | `z = (x + 1) + y;` | 4 | 2 | 7 |
| 4b | `z = (x++) + y;` | 5 | 2 | 6 |
| 4c | `z = (++x) + y;` | 5 | 2 | 7 |

- N.B.: Non usare mai in questo modo!
  In un'istruzione di assegnamento non ci devono essere altri side-effect (oltre a quello dell'operatore di assegnamento) !!!
- Riscrivere, ad esempio, come segue:

4b: `z = (x++) + y;` $\Longrightarrow$

```
z = x + y;
x++;
```

4c: `z = (++x) + y;` $\Longrightarrow$

```
x++;
z = x + y;
```

# Ordine di valutazione degli operandi

- In generale il C non stabilisce quale è l'ordine di valutazione degli operandi nelle espressioni.

  **Esempio:**
  ```
  int x, y, z;
  x = 2;
  y = 4;
  z = x++ + (x * y);
  ```

- Quale è il valore di `z`?
  - se viene valutato prima `x++`: $2 + (3 * 4) = 14$
  - se viene valutato prima `x*y`: $(2 * 4) + 2 = 10$

**Forme abbreviate dell'assegnamento**

```
a = a + b;   ⟹   a += b;
a = a - b;   ⟹   a -= b;
a = a * b;   ⟹   a *= b;
a = a / b;   ⟹   a /= b;
a = a % b;   ⟹   a %= b;
```

# Tipi di dato strutturati: Array

- I tipi di dato visti finora sono tutti semplici: `int`, `char`, `float`, ...
- ma i dati manipolati nelle applicazioni reali sono spesso complessi (o strutturati)
- Gli array sono uno dei tipi di dato strutturati
  - sono composti da elementi omogenei (tutti dello stesso tipo)
  - ogni elemento è identificato all'interno dell'array da un numero d'ordine detto indice dell'elemento
  - il numero di elementi dell'array è detto lunghezza (o dimensione) dell'array
- Consentono di rappresentare tabelle, matrici, matrici n-dimensionali, ...

# Array monodimensionali (o vettori)

- Supponiamo di dover rappresentare e manipolare la classifica di un campionato cui partecipano 16 squadre.
- È del tutto naturale pensare ad una tabella

Classifica

| Squadra A | Squadra B | ... | Squadra C |
|---|---|---|---|
| $1^o$ posto | $2^o$ posto | | $16^o$ posto |

che evolve con il procedere del campionato

Classifica

| Squadra B | Squadra A | ... | Squadra C |
|---|---|---|---|
| $1^o$ posto | $2^o$ posto | | $16^o$ posto |

**Sintassi:** dichiarazione di variabile di tipo vettore

```
tipo-elementi nome-array [lunghezza];
```

**Esempio:** `int vet[6];`

dichiara un vettore di 6 elementi, ciascuno di tipo intero.

- All'atto di questa dichiarazione vengono riservate (allocate) 6 locazioni di memoria consecutive, ciascuna contenente un intero. 6 è la lunghezza del vettore.
- La lunghezza di un vettore deve essere costante (nota a tempo di compilazione).
- Ogni elemento del vettore è una variabile identificata dal nome del vettore e da un indice

  **Sintassi:** elemento di array `nome-array[espressione];`

  **Attenzione**: `espressione` deve essere di tipo intero ed il suo valore deve essere compreso tra 0 a lunghezza-1.

- **Esempio:**

| indice | elemento | variabile |
|---|---|---|
| 0 | ? | `vet[0]` |
| 1 | ? | `vet[1]` |
| 2 | ? | `vet[2]` |
| 3 | ? | `vet[3]` |
| 4 | ? | `vet[4]` |
| 5 | ? | `vet[5]` |

- `vet[i]` è l'elemento del vettore `vet` di indice `i`.
  Ogni elemento del vettore è una variabile.

```
int vet[6], a;
vet[0] = 15;
a = vet[0];
vet[1] = vet[0] + a;
printf("%d", vet[0] + vet[1]);
```

- `vet[0]`, `vet[1]`, ecc. sono variabili intere come tutte le altre e dunque possono stare a sinistra dell'assegnamento (es. `vet[0] = 15`), cosi' come all'interno di espressioni (es. `vet[0] + a`).
- Come detto, l'indice del vettore è un'espressione.

```
index = 2;
vet[index+1] = 23;
```

# Manipolazione di vettori

- avviene solitamente attraverso cicli **for**
- l'indice del ciclo varia in genere da 0 a lunghezza-1
- spesso conviene definire la lunghezza come una costante attraverso la direttiva `#define`

**Esempio:** Lettura e stampa di un vettore.

```
#include <stdio.h>
#define LUNG 5

main ()
{
int v[LUNG]; /* vettore di LUNG elementi, indicizzati da 0 a LUNG-1 */
int i;

for (i = 0; i < LUNG; i++) {
  printf("Inserisci l'elemento di indice %d:  ", i);
  scanf("%d", &v[i]);
}
printf("Indice Elemento\n");
for (i = 0; i < LUNG; i++) {
  printf("%6d %8d\n", i, v[i]); }

}
```

# Inizializzazione di vettori

- Gli elementi del vettore possono essere inizializzati con valori costanti (valutabili a tempo di compilazione) contestualmente alla dichiarazione del vettore .

  **Esempio:** `int n[4] = {11, 22, 33, 44};`

- l'inizializzazione deve essere contestuale alla dichiarazione

  **Esempio:**
  ```
  int n[4];
  n = {11, 22, 33, 44};
  ```
  $\Longrightarrow$ errore!

- se i valori iniziali sono meno degli elementi, i rimanenti vengono posti a 0

  `int n[10] = {3};` azzera i rimanenti 9 elementi del vettore
  `float af[5] = {0.0};` pone a 0.0 i 5 elementi
  `int x[5] = {};` errore!

- se ci sono più inizializzatori di elementi, si ha un errore a tempo di compilazione

  **Esempio:** `int v[2] = {1, 2, 3};` errore!

- se si mette una sequenza di valori iniziali, si può omettere la lunghezza (viene presa la lunghezza della sequenza)

  **Esempio:** `int n[] = {1, 2, 3};` equivale a
  `int n[3] = {1, 2, 3};`

- In C l'unica operazione possibile sugli array è l'accesso ai singoli elementi.
- Ad esempio, non si possono effettuare direttamente delle assegnazioni tra vettori.

**Esempio:**

```
int a[3] = {11, 22, 33};
int b[3];
b = a;                          errore!
```

# Esempi

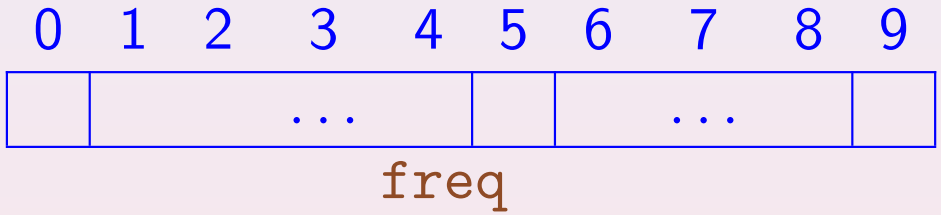
- Calcolo della somma degli elementi di un vettore.

```
int a[10], i, somma = 0;
...
for (i = 0; i < 10; i++)
  somma += a[i];
printf("%d", somma);
```

- Leggere N interi e stampare i valori maggiori di un valore intero y letto in input.

```
#include <stdio.h>
#define N 4
main()   {
int ris[N];
int y, i;
printf("Inserire i %d valori:\n", N);
for (i = 0; i < N; i++) {
  printf("Inserire valore n.  %d:  ", i+1);
  scanf("%d", &ris[i]);     }
printf("Inserire il valore y:\n");
scanf("%d", &y);
printf("Stampa i valori maggiori di %d:\n", y);
for (i = 0; i < N; i++)
  if (ris[i] > y)
    printf("L'elemento %d:  %d e' maggiore di %d\n",
            i+1, ris[i],y);
}
```

- Leggere una sequenza di caratteri terminata dal carattere `\n` di fine linea e stampare le frequenze delle cifre da `'0'` a `'9'`.
- utilizziamo un vettore `freq` di 10 elementi nel quale memorizziamo le frequenze dei caratteri da `'0'` a `'9'`




`freq[0]` conta il numero di occorrenze di `'0'`

...

`freq[9]` conta il numero di occorrenze di `'9'`

- utilizziamo un ciclo per l'acquisizione dei caratteri in cui aggiorniamo una delle posizioni dell'array tutte le volte che il carattere letto è una cifra

```
int i; char ch;
int freq[10] = {0};
do {
  ch = getchar();
  switch (ch) {
    case '0':  freq[0]++; break;
    case '1':  freq[1]++; break;
    case '2':  freq[2]++; break;
    case '3':  freq[3]++; break;
    case '4':  freq[4]++; break;
    case '5':  freq[5]++; break;
    case '6':  freq[6]++; break;
    case '7':  freq[7]++; break;
    case '8':  freq[8]++; break;
    case '9':  freq[9]++; break;
    }
} while (ch != '\n');
printf("Le frequenze sono:\n");
for (i = 0; i < 10; i++)

  printf("Freq.  di %d:  %d\n", i, freq[i]);
```

- Nel ciclo **do-while**, il comando `switch` può essere rimpiazzato da un **if** come segue

```
if (ch >= '0' && ch <= '9')
  freq[ch - '0']++;
```

  Infatti:

- i codici dei caratteri da `'0'` a `'9'` sono consecutivi
- dato un carattere `ch`, l'espressione intera `ch - '0'` è la distanza del codice di `ch` dal codice del carattere `'0'`. In particolare:
  - `'0' - '0' = 0`
  - `'1' - '0' = 1`
  - ...
  - `'9' - '0' = 9`

- Leggere da tastiera i risultati (double) di 20 esperimenti. Stampare il numero d'ordine ed il valore degli esperimenti per i quali il risultato e' minore del 50% della media.

```
#include <stdio.h>
#define DIM 20
main() {
double ris[DIM], media;
int i;
/* inserimento dei valori */
printf("Inserire i %d risultati dell'esperimento:\n", DIM);
for (i = 0; i < DIM; i++) {
  printf("Inserire risultato n.  %d:  ", i);
  scanf("%g", &ris[i]); }
/* calcolo della media */
media = 0.0;
for (i = 0; i < DIM; i++)
    media = media + ris[i];
media = media/DIM;
printf("Valore medio:  %g\n", media);
/* stampa dei valori minori di media*0.5 */
printf("Stampa dei valori minori di media*0.5:\n");
for (i = 0; i < DIM; i++)
    if (ris[i] < media * 0.5)
      printf("Risultato n.  %d:  %g\n", i, ris[i]);        }
```

# Array multidimensionali

**Sintassi:** dichiarazione

`tipo-elementi nome-array` $[\text{lung}_1][\text{lung}_2]\cdots[\text{lung}_n]$;

**Esempio:** **int** `mat[3][4];` $\Longrightarrow$ matrice $3\times4$

- Per ogni dimensione $i$ l'indice va da 0 a $\text{lung}_i$-1.

| | | colonne | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| righe | 0 | ? | ? | ? | ? |
| | 1 | ? | ? | ? | ? |
| | 2 | ? | ? | ? | ? |

**Esempio:** **int** `marketing[10][5][12]`

(indici potrebbero rappresentare: prodotti, venditori, mesi dell'anno)

## Accesso agli elementi di una matrice

```
int i, mat[3][4];
...
i = mat[0][0];          elemento di riga 0 e colonna 0 (primo elemento)
mat[2][3] = 28;         elemento di riga 2 e colonna 3 (ultimo elemento)
mat[2][1] = mat[0][0] * mat[1][3];
```

- Come per i vettori, l'unica operazione possibile sulle matrici è l'accesso agli elementi tramite l'operatore `[]`.

**Esempio:** Lettura e stampa di una matrice.

```
#include <stdio.h>
#define RIG 2
#define COL 3
main()
{
int mat[RIG][COL];
int i, j;
/* lettura matrice */
printf("Lettura matrice %d x %d;\n", RIG, COL);
for (i = 0; i < RIG; i++)
  for (j = 0; j < COL; j++)
    scanf("%d", &mat[i][j]);
/* stampa matrice */
printf("La matrice e':\n");
for (i = 0; i < RIG; i++) {
   for (j = 0; j < COL; j++)
     printf("%6d ", mat[i][j]);
   printf("\n");      }   /* a capo dopo ogni riga */
}
```

**Esempio:** Programma che legge due matrici M×N (ad esempio 4×3) e calcola la matrice somma.

```
for (i = 0; i < M; i++)
  for (j = 0; j < N; j++)
    c[i][j] = a[i][j] + b[i][j];
```

## Inizializzazione di matrici

```
int mat[2][3] = {{1,2,3}, {4,5,6}};
int mat[2][3] = {1,2,3,4,5,6};
```

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 4 | 5 | 6 |

```
int mat[2][3] = {{1,2,3}};
int mat[2][3] = {1,2,3};
```

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 0 | 0 | 0 |

```
int mat[2][3] = {{1}, {2,3}};
```

| | | |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 3 | 0 |

**Esercizio**

Programma che legge una matrice A (M×P) ed una matrice B (P×N) e calcola la matrice C prodotto di A e B

- La matrice C è di dimensione M×N.
- Il generico elemento $C_{ij}$ di C è dato da:

$$C_{ij} = \sum_{k=0}^{P-1} A_{ik} \cdot B_{kj}$$

## Soluzione

```
#define M 3
#define P 4
#define N 2
int a[M][P], b[P][N], c[M][N];
...
/* calcolo prodotto */
for (i = 0; i < M; i++)
  for (j = 0; j < N; j++) {
    c[i][j] = 0;
    for (k = 0; k < P; k++)
      c[i][j] = c[i][j] + a[i][k] * b[k][j];
  }
```

- Tutti gli elementi di `c` possono essere inizializzati a 0 al momento della dichiarazione:

```
int a[M][P], b[P][N], c[M][N] = {0};
...
for (i = 0; i < M; i++)
  for (j = 0; j < N; j++)
    for (k = 0; k < P; k++)
      c[i][j] += a[i][k] * b[k][j];
```

# Cosa è una variabile?

Quando si dichiara una variabile, ad es. `int a;` si rende noto il nome e il tipo della variabile. Il compilatore

- alloca l'opportuno numero di byte di memoria per contenere il valore associato alla variabile (ad es. `4`).
- aggiunge il simbolo `a` alla tavola dei simboli e l'indirizzo del blocco di memoria ad esso associato (ad es. `A010` che è un indirizzo esadecimale)
- Se poi troviamo l'assegnamento `a = 5;` ci aspettiamo che al momento dell'esecuzione il valore `5` venga memorizzato nella locazione di memoria assegnata alla variabile `a`

| | |
|---|---|
| A00E | ... |
| A010 | 5 |
| A012 | ... |

# Cosa è una variabile?

Alla variabile `a` si associa quindi:

- il valore della locazione di memoria, ovvero l'indirizzo `A010` e
- il valore dell'intero che vi viene memorizzato, ovvero `5`.

- Nell'espressione `a = 5;` con `a` ci riferiamo alla locazione di memoria associata alla variabile: il valore `5` viene copiato a quell'indirizzo.
- nell'espressione `b = a;` (dove `b` è ancora un intero) `a` si riferisce al valore: il valore associato ad `a` viene copiato all'indirizzo di `b`

  È ragionevole avere anche variabili che memorizzino indirizzi.

# Puntatori

- Proprietà della variabile `a` nell'esempio:

  nome: `a`
  tipo: `int`
  valore: 5
  indirizzo: `A010` (che è fissato una volta per tutte)

- In C è possibile denotare e quindi manipolare gli indirizzi di memoria in cui sono memorizzate le variabili.
- Abbiamo già visto nella `scanf`, l'operatore indirizzo "`&`", che applicato ad una variabile, denota l'indirizzo della cella di memoria in cui è memorizzata (nell'es. `&a` ha valore `0xA010`).
- Gli indirizzi si utilizzano nelle variabili di tipo puntatore, dette semplicemente puntatori.

# Tipo di dato: Puntatore

Un puntatore è una variabile che contiene l'indirizzo in memoria di un'altra variabile (del tipo dichiarato)

**Esempio:** dichiarazione **int** `*pi;`

- La varibile `pi` è di tipo puntatore a intero
- È una variabile come tutte le altre, con le seguenti proprietà:

  nome: `pi`
  tipo: puntatore ad intero (ovvero, indirizzo di un intero)
  valore: inizialmente casuale
  indirizzo: fissato una volta per tutte

- Più in generale:
  **Sintassi** `tipo *variabile;`
- Al solito, più variabili dello stesso tipo possono essere dichiarate sulla stessa linea

```
tipo *variabile-1, ..., *variabile-n;
```

**Esempio:**

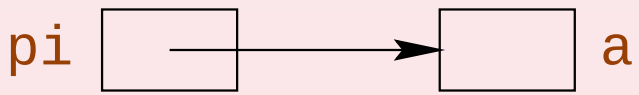
```
int *pi1, *pi2, i, *pi3, j;
float *pf1, f, *pf2;
```

- Abbiamo dichiarato:

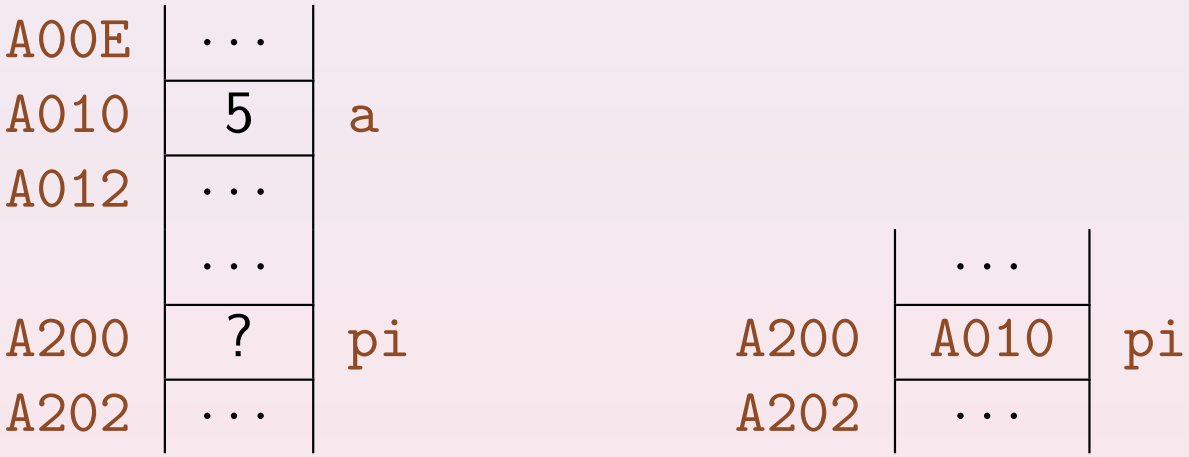
| | |
|---|---|
| `pi1`, `pi2`, `pi3` | di tipo puntatore ad `int` |
| `i`, `j` | di tipo `int` |
| `pf1`, `pf2` | di tipo puntatore a `float` |
| `f` | di tipo `float` |

- Una variabile puntatore può essere inizializzata usando l'operatore di indirizzo.

  **Esempio:** `pi = &a;`
  - il valore di `pi` viene inizializzato all'indirizzo della variabile `a`
  - si dice che `pi` punta ad `a` o che `a` è l'oggetto puntato da `pi`
  - lo rappresenteremo spesso cosi':



Prima `p=&a` Dopo



# Operatore di dereferenziamento "*"

- Applicato ad una variabile puntatore fa riferimento all'oggetto puntato. (mentre `&` fa riferimento all'indirizzo)
  **Esempio:**

```
int *pi;   /* dich.  di puntatore ad intero */
int a = 5, b;   /* dich.  variabili intere */

pi = &a;   /* pi punta ad a ==> *pi sta per a */
b = *pi;  /* assegna a b il valore della var.puntata
             da pi, ovvero il valore di a:  5 */
*pi = 9; /* assegna 9 alla variabile puntata da pi,
             ovvero ad a */
```

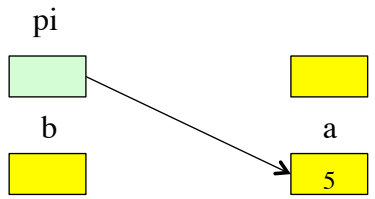
- N.B. Se `pi` è di tipo `int *`, allora `*pi` è di tipo `int`.
- Non confondere le due occorrenze di "*":
  - "*" in una dichiarazione serve per dichiarare una variabile di tipo puntatore, es. `int *pi;`
  - "*" in un'espressione è l'operatore di dereferenziamento, es. `b = *pi;`

# Operatori di dereferenziamento "*" e di indirizzo "&"

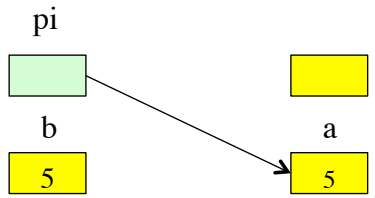
- hanno priorità più elevata degli operatori binari
- "*" è associativo a destra
  Es.: `**p` è equivalente a `*(*p)`
- "&" può essere applicato solo ad una variabile;
  `&a` non è una variabile $\Longrightarrow$ "&" non è associativo
- "*" e "&" sono uno l'inverso dell'altro
  - data la dichiarazione **int** `a;`
    `*&a` è un modo alternativo per denotare `a` (sono entrambi variabili)
  - data la dichiarazione **int** `*pi;`
    `&*pi` ha valore (un indirizzo) uguale al valore di `pi`
    però:
    - `pi` è una variabile
    - `&*pi` non lo è (ad esempio, non può essere usato a sinistra di "=")

# Operatori di dereferenziamento "*" e di indirizzo "&"

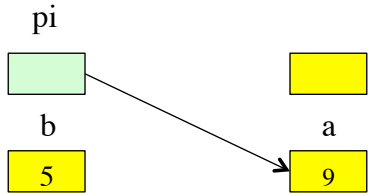
pi = &a




b= *pi



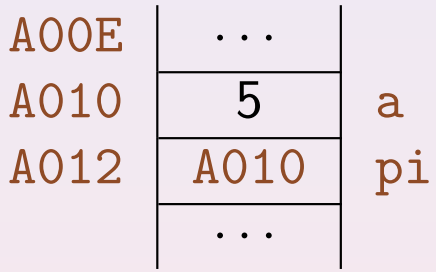

*pi = 9



# Stampa di puntatori

- I puntatori si possono stampare con `printf` e specificatore di formato "%p" (stampa in formato esadecimale).

**Esempio:**




```
int a = 5, *pi;
pi = &a;
printf("ind.  di a = %p\n", &a);   /* stampa 0xA010 */
printf("val.  di pi = %p\n", pi);   /* stampa 0xA010 */
printf("val.  di &*pi = %p\n", &*pi);   /* stampa 0xA010 */
printf("val.  di a = %d\n", a);   /* stampa 5 */
printf("val.  di *pi = %d\n", *pi);   /* stampa 5 */
printf("val.  di *&a = %d\n", *&a);   /* stampa 5 */
```

- Si può usare %p anche con `scanf`, ma ha poco senso leggere un indirizzo.

**Esempio:** Scambio del valore di due variabili.

```
int a = 10, b = 20, temp;
temp = a;
a = b;
b = temp;
```

Tramite puntatori:

```
int a = 10, b = 20, temp;
int *pa, *pb;

pa = &a;   /* *pa diventa un alias per a */
pb = &b;   /* *pb diventa un alias per b */

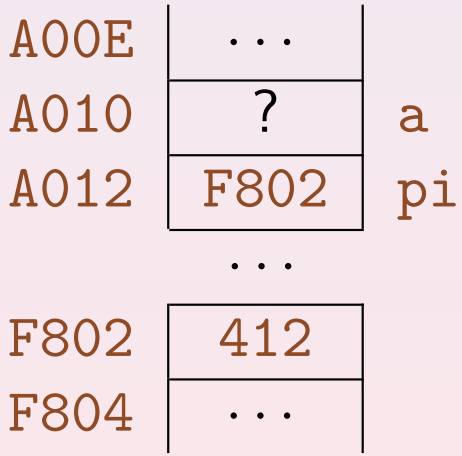
temp = *pa;
*pa = *pb;
*pb = temp;
```

# Inizializzazione di variabili puntatore

- I puntatori (come tutte le altre variabili) devono essere inizializzati prima di poter essere usati.

  $\Longrightarrow$ È un errore dereferenziare una variabile puntatore non inizializzata.

  **Esempio:** `int a, *pi;`




  `a = *pi;` $\Longrightarrow$ ad `a` viene assegnato il valore 412

  `*pi = 500;` $\Longrightarrow$ scrive 500 nella cella di indirizzo `F802`

- Non sappiamo a cosa corrisponde questa cella di memoria!!!

  $\Longrightarrow$ la memoria può venire corrotta

# Tipo di variabili puntatore

- Il tipo di una variabile puntatore è "puntatore a `tipo`". Il suo valore è un indirizzo.
- I tipi puntatore sono indirizzi e non interi.

```
int a, *pi;
a = pi;
```

- Compilando si ottiene un warning:
  "assignment makes integer from pointer without a cast"
- Due variabili di tipo puntatore a tipi diversi sono incompatibili.

```
int x, *pi; float *pf;
```

| | |
|---|---|
| `x = pi;` | assegnazione `int*` a `int`<br>warning: "assignment makes integer from pointer ..." |
| `pf = x;` | assegnazione `int` a `float*`<br>warning: "assignment makes pointer from integer ..." |
| `pi = pf;` | assegnazione `float*` a `int*`<br>warning: "assignment from incompatible pointer type" |

- Perché il C distingue tra puntatori di tipo diverso?
- Se tutti i tipi puntatore fossero identici non sarebbe possibile determinare a tempo di compilazione il tipo di `*p`.

  **Esempio:**

  ```
  puntatore p;
  int i; char c; float f;
  ```

- Potrei scrivere:

  ```
  p = &c;
  p = &i;
  p = &f;
  ```

- Il tipo di `*p` verrebbe a dipendere dall'ultima assegnazione che è stata fatta (nota solo a tempo di esecuzione).
- Ad esempio, quale sarebbe il significato di `/` in `i/*p`: divisione intera o reale?

# Funzione `sizeof` con puntatori

- La funzione `sizeof` restituisce l'occupazione in memoria in byte di una variabile (anche di tipo puntatore) o di un tipo.
- I puntatori occupano lo spazio di un indirizzo.
- L'oggetto puntato ha invece la dimensione del tipo puntato.

```
char *pc;
int *pi;
double *pd;
printf("%d %d %d ", sizeof(pc), sizeof(pi), sizeof(pd));
printf("%d %d %d\n", sizeof(char *), sizeof(int *),
                     sizeof(double *));
printf("%d %d %d ", sizeof(*pc), sizeof(*pi), sizeof(*pd));
printf("%d %d %d\n", sizeof(char), sizeof(int),
                     sizeof(double));
```

```
4 4 4   4 4 4
1 2 8   1 2 8
```

# Operazioni con puntatori

Sui puntatori si possono effettuare diverse operazioni:

- di dereferenziamento

  **Esempio:**

  ```
  int *p, i;
  ...
  i = *p;
  ```

  Il valore della variabile intera `i` è ora lo stesso del valore dell'intero puntato da `p`.

- di assegnamento

  **Esempio:**

  ```
  int *p, *q;
  ...
  p = q;
  ```

  - N.B. `p` e `q` devono essere dello stesso tipo (altrimenti bisogna usare l'operatore di cast).

  Dopo l'assegnamento precedente, `p` punta allo stesso intero a cui punta `q`.

- di confronto

  **Esempio:**

  ```
  if (p == q) ...
  ```

  I due puntatori hanno lo stesso valore.

  **Esempio:**

  ```
  if (p > q) ...
  ```

  Ha senso? Con quello che abbiamo visto finora no. Vedremo che ci sono situazioni in cui ha senso.

# Aritmetica dei puntatori

Sui puntatori si possono anche effettuare operazioni aritmetiche, con opportune limitazioni

- somma o sottrazione di un intero
- sottrazione di un puntatore da un altro

**Somma e sottrazione di un intero**

Se `p` è un puntatore a `tipo` e il suo valore è un certo indirizzo `ind`, il significato di `p+1` è il primo indirizzo utile dopo `ind` per l'accesso e la corretta memorizzazione di una variabile di tipo `tipo`.

**Esempio:**

```
int *p, *q;
....
q = p+1;
```

Se il valore di `p` è l'indirizzo `100`, il valore di `q` dopo l'assegnamento è `104` (assumendo che un intero occupi 4 byte).

- Il valore calcolato in corrispondenza di un'operazione del tipo `p+i` dipende dal tipo T di `p` (analog. per `p-i`):
  Op. Logica: p = p+1  Op.Algebrica: p = p +`sizeof(T)`

  **Esempio:**
  ```
  int *pi;
  *pi = 15;
  pi=pi+1;
  ```
  $\Longrightarrow$ `pi` punta al prossimo `int` (4 byte dopo)

  **Esempio:**
  ```
  double *pd;
  *pd = 12.2;
  pd = pd+3;
  ```
  $\Longrightarrow$ `pd` punta a 3 `double` dopo (24 byte dopo)

  **Esempio:**
  ```
  char *pc;
  *pc = 'A';
  pc = pc - 5;
  ```
  $\Longrightarrow$ `pc` punta a 5 `char` prima (5 byte prima)

- Possiamo anche scrivere: `pi++;`  `pd+=3;`  `pc-=5;`

# Puntatore a puntatore

- Le variabili di tipo puntatore sono variabili come tutte le altre: in particolare hanno un indirizzo che può costituire il valore di un'altra variabile di tipo puntatore a puntatore.

**Esempio:**

```
int *pi, **ppi, x=10;
pi = &x;
ppi = &pi;
printf("pi = %p ppi = %p *ppi = %p\n", pi, ppi, *ppi);
printf("*pi = %d **ppi = %d x = %d\n", *pi, **ppi, x);
```

```
pi = 0x22ef34    ppi = 0x22ef3c    *ppi = 0x22ef34
*pi = 10         **ppi = 10         x = 10
```

# Esempi

```
int a, b, *p, *q;
a=10;
b=20;
p = &a;
q = &b;
*q = a + b;
a = a + *q;
q = p;
*q = a + b;
printf("a=%d b=%d *p=%d *q=%d, a,b,*p,*q);
```

Quali sono i valori stampati dal programma?

# Esempi (contd.)

```
int *p, **q;
int a=10, b=20;
q = &p;
p = &a;
*p = 50;
**q = 100;
*q = &b;
*p = 50;
a = a+b;
printf("a=%d   b=%d  *p=%d  **q=%d\n", a, b, *p, **q);
```

Quali sono i valori stampati dal programma?

# Relazione tra vettori e puntatori

- In generale non sappiamo cosa contengono le celle di memoria adiacenti ad una data cella.
- L'unico caso in cui sappiamo quali sono le locazioni di memoria successive e cosa contengono è quando utilizziamo dei vettori.
- In C il nome di un vettore è in realtà un puntatore, inizializzato all'inidirizzo dell'elemento di indice 0.

  **int** `vet[10];` $\Longrightarrow$ `vet` e `&vet[0]` hanno lo stesso valore (un indirizzo)

  $\Longrightarrow$ `printf("%p %p", vet, &vet[0]);` stampa 2 volte lo stesso indirizzo.

- Possiamo far puntare un puntatore al primo elemento di un vettore.

```
int vet[5];
int *pi;
pi = vet;      è equivalente a   pi = &vet[0];
```

# Accesso agli elementi di un vettore

Esempio:

```
int vet[5];
int *pi = vet;
*(pi + 3) = 28;
```

- `pi+3` punta all'elemento di indice 3 del vettore (il quarto elemento).
- 3 viene detto offset (o scostamento) del puntatore.
- N.B. Servono le `()` perchè `*` ha priorità maggiore di `+`. Che cosa denota `*pi + 3` ?
- Osservazione:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| `&vet[3]` | equivale a | `pi+3` | equivale a | `vet+3` |
| `*&vet[3]` | equivale a | `*(pi+3)` | equivale a | `*(vet+3)` |

- Inoltre, `*&vet[3]` equivale a `vet[3]`
  - In C, `vet[3]` è solo un modo alternativo di scrivere `*(vet+3)`.
- Notazioni per gli elementi di un vettore:
  - `vet[3]` $\Longrightarrow$ notazione con puntatore e indice
  - `*(vet+3)` $\Longrightarrow$ notazione con puntatore e offset

- Un esempio che riassume i modi in cui si può accedere agli elementi di un vettore.

```
int vet[5] = {11, 22, 33, 44, 55};
int *pi = vet;
int offset = 3;

/* assegnamenti equivalenti */

vet[offset] = 88;
*(vet + offset) = 88;
pi[offset] = 88;
*(pi + offset) = 88;
```

- **Attenzione**: a differenza di un normale puntatore, il nome di un vettore è un puntatore costante
  - il suo valore non può essere modificato!
- ```
  int vet[10];
  int *pi;
  ```

  `pi = vet;` corretto

  `pi++;` corretto

  `vet++;` scorretto: `vet` e' un puntatore costante!
- È questo il vero motivo per cui non è possibile assegnare un vettore ad un altro utilizzando i loro nomi

  ```
  int a[3]={1,1,1}, b[3] i;
  for (i=0; i<3; i++)
      b[i] = a[i];
  ```

  ma non `b=a` (`b` è un puntatore costante!)
  ```

# Modi alternativi per scandire un vettore

```
int a[LUNG]= {.......};
int i, *p=a;
```

- I seguenti sono tutti modi equivalenti per stampare i valori di `a`

```
for (i=0; i<LUNG; i++)
     printf("%d", a[i]);
```

```
for (i=0; i<LUNG; i++)
      printf("%d", p[i]);
```

```
for (i=0; i<LUNG; i++)
    printf("%d", *(a+i));
```

```
for (i=0; i<LUNG; i++)
     printf("%d", *(p+i));
```

```
for (p=a; p<a+LUNG; p++)
    printf("%d", *p);
```

- Non è invece lecito un ciclo del tipo

```
for ( ; a<p+LUNG; a++)
    printf("%d", *a);
```

perché? Perché a++ è un assegnamento sul puntatore costante a!.

# Differenza tra puntatori

- Il parallelo tra vettori e puntatori ci consente di capire il senso di un'operazione del tipo `p-q` dove `p` e `q` sono puntatori allo stesso tipo.

```
int *p, *q;
int a[10]={0};
int x;
...
x=p-q;
```

- Il valore di `x` è il numero di interi compresi tra l'indirizzo `p` e l'indirizzo `q`.
- Quindi se nel codice precedente `...` sono le istruzioni:

```
q = a;
p = &a[5];
```

il valore di `x` dopo l'assegnamento è 5.

# Esempio

```
double b[10] = {0.0};
double *fp, *fq;
char   *cp, *cq;

fp = b+5;
fq = b;

cp = (char *) (b+5);
cq = (char *) b;

printf("fp=%p  cp=%p  fq=%p  cq=%p\n", fp, cp, fq, cq);
printf("fp-fq= %d,   cp-cq=%d\n", fp-fq, cp-cq);
```

```
fp=0x22fe3c  cp=0x22fe3c  fq=0x22fe14  cq=0x22fe14
fp-fq=5   cp-cq=40
```