

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° posto | 2° posto | | 16° posto |

che evolve con il procedere del campionato

Classifica

| | | | |
|-----------|-----------|-----|-----------|
| Squadra B | Squadra A | ... | Squadra C |
| 1° posto | 2° posto | | 16° 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`), così 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};` ⇒ **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 è 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 [lung₁] [lung₂]... [lung_n];

Esempio: `int mat[3][4];` ⇒ matrice 3×4

- ▶ Per ogni dimensione *i* l'indice va da 0 a 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 $M \times N$ (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 ($M \times P$) ed una matrice B ($P \times N$) e calcola la matrice C prodotto di A e B

- ▶ La matrice C è di dimensione $M \times N$.
- ▶ 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 variabile `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:

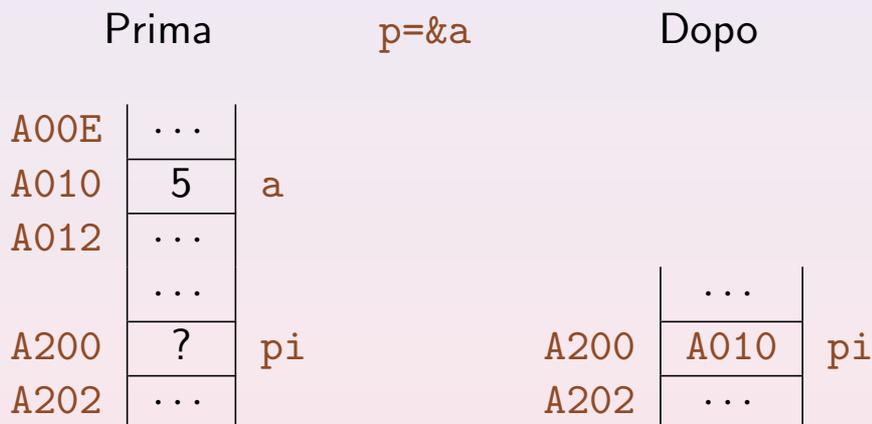
```
int *pi1, *pi2, i, *pi3, j;
float *pf1, f, *pf2;
```

- ▶ 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 così':





Operatore di dereferenziazione “*”

- ▶ 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 */
```

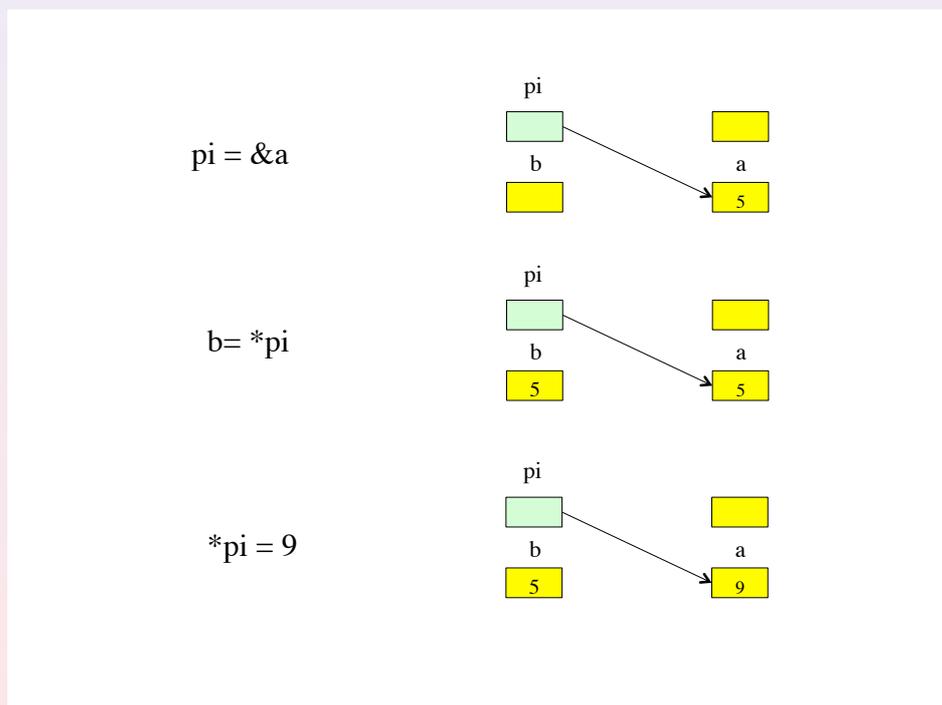
```
pi = &a; /* pi punta ad a ==> *pi sta per a */
b = *pi; /* assegna a b il valore della var.puntata
da pi, ovvero il valore di a: 5 */
*pi = 9; /* assegna 9 alla variabile puntata da pi,
ovvero ad a */
```

- ▶ 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 dereferenziazione, es. $b = *pi$;

Operatori di dereferenziazione "*" 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 \implies "&" 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 dereferenziazione "*" e di indirizzo "&"



Stampa di puntatori

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

Esempio:

| | | |
|------|------|----|
| A00E | ... | |
| A010 | 5 | a |
| A012 | A010 | pi |
| | ... | |

```
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.

⇒ È un **errore** dereferenziare una variabile puntatore non inizializzata.

Esempio: `int a, *pi;`

| | | |
|------|------|----|
| A00E | ... | |
| A010 | ? | a |
| A012 | F802 | pi |
| | ... | |
| F802 | 412 | |
| F804 | ... | |

`a = *pi;` ⇒ ad `a` viene assegnato il valore `412`

`*pi = 500;` ⇒ scrive `500` nella cella di indirizzo `F802`

- ▶ Non sappiamo a cosa corrisponde questa cella di memoria!!!
⇒ 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`

warning: “assignment makes integer from pointer ...”

`pf = x;` assegnazione `int` a `float*`

warning: “assignment makes pointer from integer ...”

`pi = pf;` assegnazione `float*` a `int*`

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: $p = p + \text{sizeof}(T)$

Esempio:

```
int *pi;
```

```
*pi = 15;
```

```
pi=pi+1;
```

⇒ pi punta al prossimo **int** (4 byte dopo)

Esempio:

```
double *pd;
```

```
*pd = 12.2;
```

```
pd = pd+3;
```

⇒ pd punta a **3 double** dopo (24 byte dopo)

Esempio:

```
char *pc;
```

```
*pc = 'A';
```

```
pc = pc - 5;
```

⇒ 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'indirizzo dell'elemento di indice 0.

`int vet[10];` \Rightarrow `vet` e `&vet[0]` hanno lo stesso valore (un indirizzo)
 \Rightarrow `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]` \implies notazione con **puntatore e indice**
 - ▶ `*(vet+3)` \implies 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 \dots 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
```