

---

Materiale didattico di supporto alle lezioni del corso di

# Fondamenti di Informatica I

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

---

Prof. Cinzia Bernardeschi

Ing. Marco Cococcioni

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Anno Accademico 2015-2016

---

Il corso è composto da due moduli da 6 CFU:

- **Fondamenti di Informatica** (titolare Prof. Bernardeschi)
- **Programmazione ad Oggetti** (titolare Ing. Cococcioni)

Libri di testo:

- Paolo Corsini  
*Il calcolatore didattico DC86.32*  
Edizioni ETS, Pisa, 2011.  
Acquistabile presso le principali librerie della città



- Andrea Domenici, Graziano Frosini  
*Introduzione alla Programmazione ed Elementi di Strutture Dati con il Linguaggio C++*  
Milano: Franco Angeli.  
**(va bene dalla quinta edizione in poi)**  
Acquistabile presso le principali librerie della città



- Raccolta di lucidi delle lezioni: scaricabili dal **sito del corso**  
<http://www.iet.unipi.it/c.bernardeschi/FondamentiDiInformatica.html>

Modalità di esame: prova pratica e prova orale.

---

## Argomenti del corso

### **Rappresentazione dell'informazione.**

#### **Architettura del calcolatore. Linguaggio Assembler**

#### **Concetti di base della programmazione**

Concetto di algoritmo. Il calcolatore come esecutore di algoritmi. Linguaggi di programmazione ad alto livello. Sintassi e semantica di un linguaggio di programmazione. Metodologie di programmazione strutturata. Principi fondamentali di progetto e sviluppo di semplici algoritmi.

#### **Programmare in C**

Tipi fondamentali. Istruzioni semplici, strutturate e di salto. Funzioni. Ricorsione. Riferimenti e puntatori. Array. Strutture e unioni. Memoria libera. Visibilità e collegamento. Algoritmi di ricerca e di ordinamento.

#### **Concetti di base della programmazione a oggetti**

Limitazioni dei tipi derivati. Il concetto di tipo di dato astratto.

#### **Programmare in C++**

Classi. Operatori con oggetti classe. Altre proprietà delle classi. Classi per l'ingresso e per l'uscita.

#### **Progettare ed implementare tipi di dato astratti**

Alcuni tipi di dato comuni con le classi: Liste, Code, Pile.

1

## Rappresentazione dell'Informazione (1/2)

L'informazione è qualcosa di astratto.

Per poterla manipolare bisogna rappresentarla.

In un calcolatore i vari tipi di informazione (testi, figure, numeri, musica,...) si rappresentano per mezzo di sequenze di bit (cifre binarie).

Bit è l'abbreviazione di Binary digIT, numero binario.

Il bit è l'unità di misura elementare dell'informazione, ma anche la base del sistema numerico utilizzato dai computer. Può assumere soltanto due valori: 0 o 1.

Byte è l'unità di misura dell'informazione che corrisponde ad 8 bit.

2

## Rappresentazione dell'Informazione (2/2)

Quanta informazione può essere contenuta in una sequenza di  $n$  bit?  
L'informazione corrisponde a tutte le possibili disposizioni con ripetizione di due oggetti (0 ed 1) in  $n$  caselle (gli  $n$  bit), ossia  $2^n$

Esempio:  $n=2$ .

00  
01  
10  
11

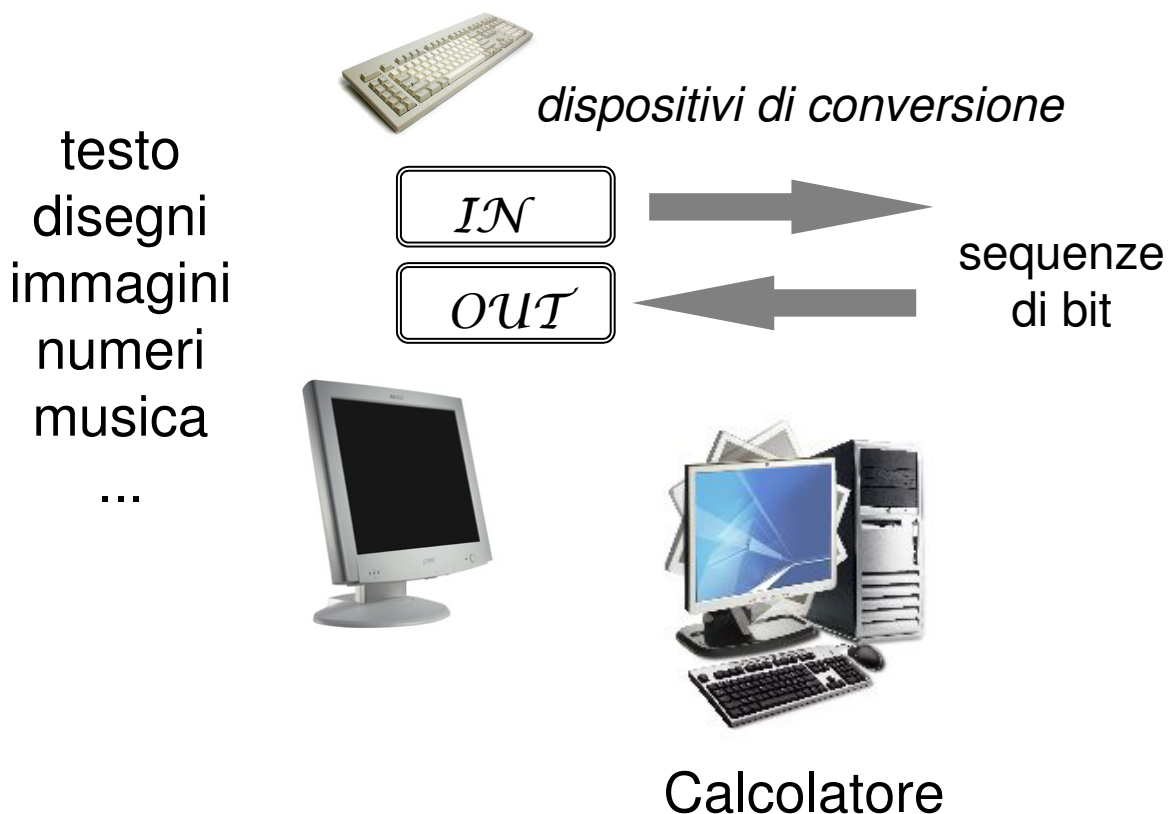
ATTENZIONE: Una stessa sequenza di bit può rappresentare informazione differente.

Per esempio 01000001 rappresenta

- l'intero 65
- il carattere 'A'
- il colore di un puntino sullo schermo

3

## Calcolatore e Informazione



4

## Rappresentazione del testo (1/2)

**Codifica ASCII (American Standard Code for Information Interchange) Standard su 7 bit (il primo bit del byte sempre 0)**

| Sequenze | Caratteri |
|----------|-----------|
| 00110000 | 0         |
| 00110001 | 1         |
| 00110010 | 2         |
| ...      | ...       |
| 00111001 | 9         |
| ...      | ...       |
| 01000001 | A         |
| 01000010 | B         |
| 01000011 | C         |
| ...      | ...       |
| 01100001 | a         |
| 01100010 | b         |
| ...      | ...       |

01000011  
 01100001  
 01110010  
 01101111  
 00100000  
 01100001  
 01101110  
 01101001  
 01100011  
 01101111  
 00101100

Caro amico,

5

## Rappresentazione del testo (2/2)

**Codifica ASCII – Tabella di corrispondenza**

3 cifre più significative

| 000 | 001  | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 |      |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| NUL | DLE  | SP  | 0   | @   | P   | `   | p   | 0000 |
| SOH | XON  | !   | 1   | A   | Q   | a   | q   | 0001 |
| STX | DC2  | "   | 2   | B   | R   | b   | r   | 0010 |
| ETX | XOFF | #   | 3   | C   | S   | c   | s   | 0011 |
| EQT | DC4  | \$  | 4   | D   | T   | d   | t   | 0100 |
| ENQ | NAK  | %   | 5   | E   | U   | e   | u   | 0101 |
| ACK | SYN  | &   | 6   | F   | V   | f   | v   | 0110 |
| BEL | ETB  | '   | 7   | G   | W   | g   | w   | 0111 |
| BS  | CAN  | (   | 8   | H   | X   | h   | x   | 1000 |
| HT  | EM   | )   | 9   | I   | Y   | i   | y   | 1001 |
| LF  | SUB  | *   | :   | J   | Z   | j   | z   | 1010 |
| VF  | ESC  | +   | ;   | K   | [   | k   | {   | 1011 |
| FF  | FS   | ,   | <   | L   | \   | l   |     | 1100 |
| CR  | GS   | -   | =   | M   | ]   | m   | }   | 1101 |
| SO  | RS   | .   | >   | N   | ^   | n   | ~   | 1110 |
| SI  | US   | /   | ?   | O   | _   | o   | DEL | 1111 |

4 cifre meno  
significative

6

## Rappresentazione dei numeri naturali (1/11)

Base dieci

◆ Cifre: 0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9

◆ Rappresentazione posizionale

$(123)_{dieci}$  *significa*  $1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0$

Base due

◆ Cifre: 0, 1

◆ Rappresentazione posizionale

$(11001)_{due}$  *significa*  $1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 (= 25)_{dieci}$

7

## Rappresentazione dei numeri naturali (2/11)

Data una base  $\beta \geq \text{due}$

Ogni numero naturale  $N$  minore di  $\beta$  ( $N < \beta$ ) è associato ad un simbolo elementare detto **cifra**

| BASE   | CIFRE                           |
|--------|---------------------------------|
| due    | 0 1                             |
| cinque | 0 1 2 3 4                       |
| otto   | 0 1 2 3 4 5 6 7                 |
| sedici | 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F |

8

### Rappresentazione dei numeri naturali (3/11)

I numeri naturali maggiori o uguali a  $\beta$  possono essere rappresentati da una sequenza di cifre secondo la *rappresentazione posizionale*

Se un numero naturale  $N \geq \beta$  è rappresentato in base  $\beta$  dalla sequenza di cifre:

$$a_{p-1} a_{p-2} \dots a_1 a_0$$

allora  $N$  può essere espresso come segue:

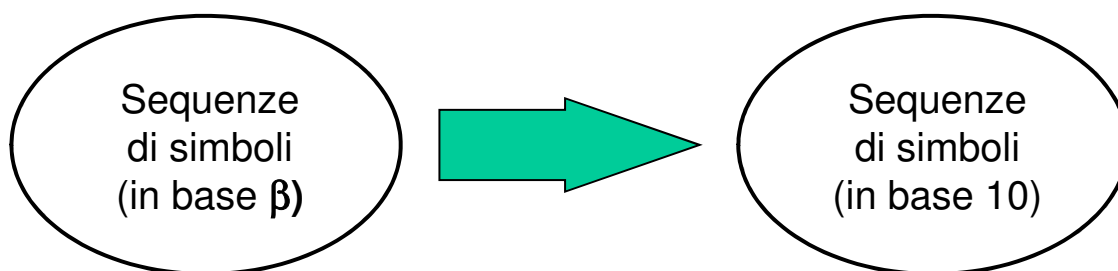
$$N = \sum_{i=0}^{p-1} a_i \beta^i = a_{p-1} \beta^{p-1} + a_{p-2} \beta^{p-2} + \dots + a_2 \beta^2 + a_1 \beta + a_0$$

dove  $a_0$  è detta «cifra meno significativa» e  $a_{p-1}$  «cifra più significativa»

9

### Rappresentazione dei numeri naturali (4/11)

Data una sequenza di cifre in base  $\beta$ , a quale numero naturale corrisponde?



$$a_{p-1} a_{p-2} \dots a_1 a_0$$

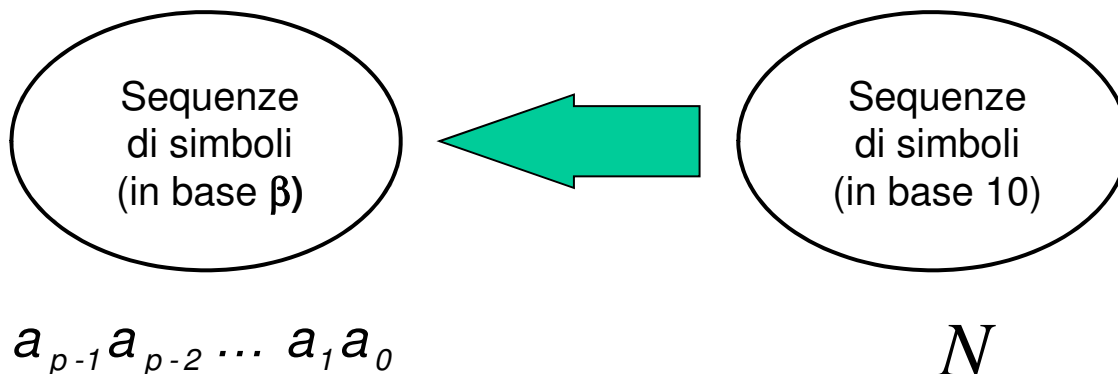
$$N ?$$

$$\begin{array}{ccc} 656_8 & \xrightarrow{\quad} & 6 \cdot 8^2 + 5 \cdot 8^1 + 6 \cdot 8^0 \\ A03_{16} & \xrightarrow{\quad} & 10 \cdot 16^2 + 0 \cdot 16^1 + 3 \cdot 16^0 \\ 1101_2 & \xrightarrow{\quad} & 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 \end{array} \quad \xrightarrow{\quad} \quad \begin{array}{c} 430 \\ 2563 \\ 13 \end{array}$$

10

## Rappresentazione dei numeri naturali (5/11)

Data la base  $\beta$  ed un numero naturale  $N$ , trovare la sequenza di cifre che rappresenta  $N$  in base  $\beta$



11

## Rappresentazione dei numeri naturali (6/11)

Esempio: da base 10 a base 2

$N = 23$

inizio

|       | QUOZIENTE | RESTO | Rappresentazione                                                          |
|-------|-----------|-------|---------------------------------------------------------------------------|
|       | 23        | -     |                                                                           |
| div 2 | 11        | 1     | $11 \cdot 2 + 1$                                                          |
| div 2 | 5         | 1     | $((5 \cdot 2) + 1) \cdot 2 + 1$                                           |
| div 2 | 2         | 1     | $((((2 \cdot 2) + 1) \cdot 2) + 1) \cdot 2 + 1$                           |
| div 2 | 1         | 0     | $(((((1 \cdot 2) + 0) \cdot 2) + 1) \cdot 2) + 1) \cdot 2 + 1$            |
| div 2 | 0         | 1     | $(((((0 \cdot 2 + 1) \cdot 2 + 0) \cdot 2 + 1) \cdot 2 + 1) \cdot 2) + 1$ |

fine

$(10111)_{\text{due}}$   
 $a_4 a_3 a_2 a_1 a_0$

che in base dieci vale  $1 \cdot 2^4 + \dots + 1 = (23)_{\text{dieci}}$  cvd

12

## Rappresentazione dei numeri naturali (7/11)

Sia **mod** il resto e **div** il quoziente della divisione intera

Esempio:

$$23 \text{ div } 2 = 11$$

$$23 \text{ mod } 2 = 1$$

### Procedimento mod/div

Se  $N = 0$  porre  $a_0 = 0$ ;  $\Rightarrow$  fine

Altrimenti: porre  $q_0 = N$  e poi eseguire la seguente procedura iterativa:

$$q_1 = q_0 \text{ div } \beta$$

$$a_0 = q_0 \text{ mod } \beta$$

$$q_2 = q_1 \text{ div } \beta$$

$$a_1 = q_1 \text{ mod } \beta$$

...

$$q_{p-1} = q_{p-2} \text{ div } \beta$$

$$a_{p-1} = q_{p-2} \text{ mod } \beta$$

NB: Il risultato della **mod** è sempre una cifra valida in base  $\beta$  perché restituisce sempre un numero fra 0 e  $\beta-1$  (estremi inclusi).

fino a che  $q_p$  è uguale a 0;

Il procedimento si arresta quando  $q_p = 0$  (più precisamente subito dopo aver calcolato  $a_{p-1}$ ).  $p$  è proprio il numero di cifre necessario per rappresentare  $N$  in base  $\beta$

13

## Rappresentazione dei numeri naturali (8/11)

Inizio  $q_0 = N$

|             | QUOZIENTE           | RESTO |
|-------------|---------------------|-------|
|             | $q_0 = N$           | -     |
| div $\beta$ | $q_1 = q_0 / \beta$ | $a_0$ |
| div $\beta$ | $q_2 = q_1 / \beta$ | $a_1$ |
| div $\beta$ | $q_3 = q_2 / \beta$ | $a_2$ |
| div $\beta$ | $q_4 = q_3 / \beta$ | $a_3$ |
| div $\beta$ | $q_5 = q_4 / \beta$ | $a_4$ |
| div $\beta$ | $q_6 = q_5 / \beta$ | $a_5$ |
|             | $q_7 = 0$           | $a_6$ |

fine

$$N = a_6 \cdot \beta^6 + a_5 \cdot \beta^5 + a_4 \cdot \beta^4 + a_3 \cdot \beta^3 + a_2 \cdot \beta^2 + a_1 \cdot \beta^1 + a_0 \cdot \beta^0$$

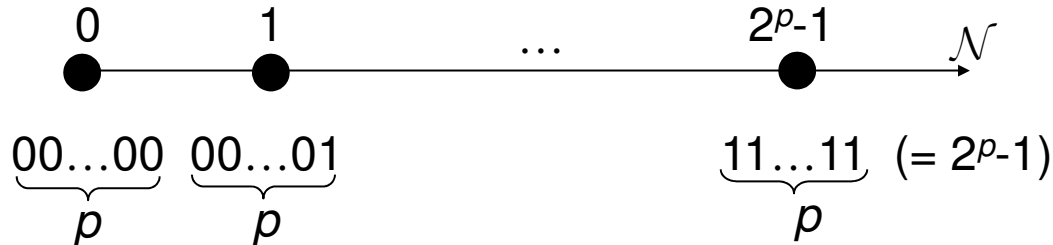
14



## Rappresentazione dei numeri naturali (9/11)

Potenza della base:  $2^p \leftrightarrow (\underbrace{100\dots 00}_p)_{due}$

Intervallo di rappresentabilità con  $p$  bit



| $p$ | Intervallo $[0, 2^p-1]$ |
|-----|-------------------------|
| 8   | $[0, 255]$              |
| 16  | $[0, 65535]$            |
| 32  | $[0, 4294967295]$       |

NB: per la generica base  $\beta$ , l'intervallo di rappresentabilità con  $p$  cifre è  $[0, \beta^p-1]$

15

## Rappresentazione dei numeri naturali (10/11)

Calcolatore lavora con un numero finito di bit

- ◆ Supponiamo che  $p = 16$  bit
- ◆  $A = 0111011011010101$  (30421)  
 $B = 1010100001110111$  (43127)
- ◆ Poiché  $A + B$  (73552) è maggiore di  $2^p-1$  (65535), quindi non è rappresentabile su  $p$  bit, si dice che la somma ha dato luogo ad **overflow**
- ◆ In generale, ci vogliono  $p+1$  bit per la somma di due numeri di  $p$  bit

$A = 1111111111111111$  (65535)

$B = 1111111111111111$  (65535)

---

$11111111111111110$  (131070)

16

## Rappresentazione dei numeri naturali (11/11)

Somma fra due numeri naturali espressi in binario.

Per sommare 10011 e 101101, basta metterli in colonna allineandoli a destra (come si fa con i numeri in base 10) e poi tenere presenti le seguenti regole:

|     |     |                      |                      |                                                    |
|-----|-----|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------|
|     |     | genera<br>un riporto | genera<br>un riporto | eventuale riporto<br>generatosi<br>precedentemente |
|     |     |                      | 1                    | 11                                                 |
| 0 + | 0 + | 1 +                  | 1 +                  | 1 +                                                |
| 0 = | 1 = | 0 =                  | 1 =                  | 1 =                                                |
| 0   | 1   | 1                    | 10                   | 11                                                 |

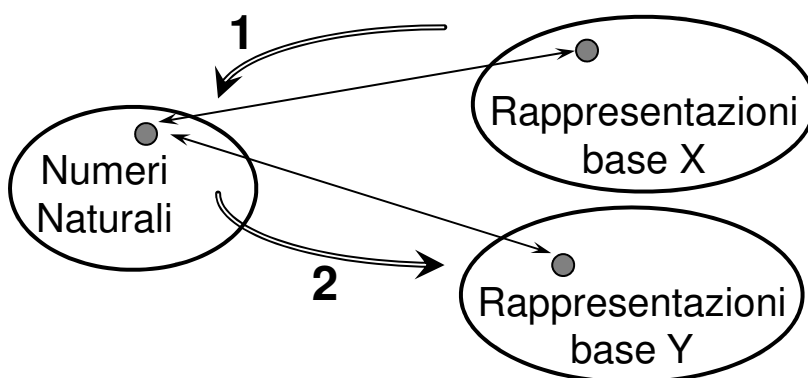
Esempio: calcolare la somma di 101100 e 111010

11 ← riporti generati

$$\begin{array}{r}
 101100 + \\
 111010 = \\
 \hline
 1101110
 \end{array}$$

17

## Numeri naturali - Cambio di base (1/2)



**Da base X a base Y**

Trovare la rappresentazione in base 9 di  $(1023)_{cinque}$

1) Trasformo in base 10 ed ottengo 138

2) Applico il procedimento  $\text{mod/div}$  ed ottengo  $(163)_{nove}$

18

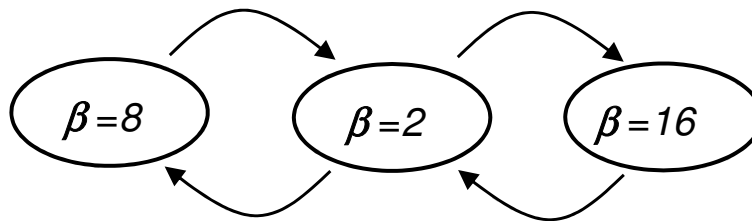
## Casi particolari (potenze di 2)

$\beta = 16$

|   |      |
|---|------|
| 0 | 0000 |
| 1 | 0001 |
| 2 | 0010 |
| 3 | 0011 |
| 4 | 0100 |
| 5 | 0101 |
| 6 | 0110 |
| 7 | 0111 |
| 8 | 1000 |
| 9 | 1001 |
| A | 1010 |
| B | 1011 |
| C | 1100 |
| D | 1101 |
| E | 1110 |
| F | 1111 |

$\beta = 8$

|   |     |
|---|-----|
| 0 | 000 |
| 1 | 001 |
| 2 | 010 |
| 3 | 011 |
| 4 | 100 |
| 5 | 101 |
| 6 | 110 |
| 7 | 111 |



$(657)_{\text{otto}}$   
 $(110\ 101\ 111)_{\text{due}}$

$(A03)_{\text{sedici}}$   
 $(1010\ 0000\ 0011)_{\text{due}}$

$(FFE4)_{\text{sedici}}$   
 $(1111\ 1111\ 1110\ 0100)_{\text{due}}$

19

## Numeri Interi (1/14)

### Prima rappresentazione: *rappresentazione in modulo e segno*

#### Trasformazione $a \Rightarrow A$

Sia  $a$  (es.  $a=+3$ ,  $a=-3$ , ...) il numero intero che si vuole rappresentare **in modulo e segno** su  $p$  bit. La rappresentazione  $A$  (es. 0011, 1011, ...) di  $a$  è data da:

$$A = a_{p-1}, \dots, a_0 = (\text{segno}_a, \text{ABS}_a)$$

dove  $\text{ABS}_a$  è la rappresentazione (come numero naturale) del valore assoluto di  $a$  su  $p-1$  bit (in particolare  $\text{ABS}_a$  è rappresentato mediante i bit  $a_{p-2}, \dots, a_0$ ), e  $\text{segno}_a$  è un unico bit che vale 0 se  $a \geq 0$  e 1 se  $a < 0$ .

NB: ad  $a=0$  corrispondono due rappresentazioni:  $+\text{zero}$  (0,00..0) e  $-\text{zero}$  (1,00..0)

Ad esempio, per  $p = 4$  si ha:

$a=+3 \Rightarrow \text{segno}_a = 0$ ,  $\text{ABS}_a = 011$  (naturale 3 rappresentato su 3 cifre)  $\Rightarrow A=0011$

$a=-3 \Rightarrow \text{segno}_a = 1$ ,  $\text{ABS}_a = 011$  (naturale 3 rappresentato su 3 cifre)  $\Rightarrow A=1011$

20

## Prima rappresentazione: *rappresentazione in modulo e segno*

### Trasformazione $A \Rightarrow a$

Data una rappresentazione **A** di un intero **in modulo e segno** su  $p$  bit, come si risale all'intero **a** da esso rappresentato?

La rappresentazione **A** va vista come composta di due parti:  $A = (\underbrace{a_{p-1}}_{\text{segno}}, \underbrace{a_{p-2} \dots a_0}_{\text{modulo}})$  dopodiché:

$$a = (a_{p-1} == 0) ? +ABS\_a : -ABS\_a$$

dove  $ABS\_a$  è il naturale corrispondente ad  $a_{p-2} \dots a_0$

Ad esempio, per  $p = 4$  si ha:

$A=0011 \Rightarrow$  viene visto come  $(0,011) \Rightarrow a = +011$  (*+tre*)

$A=1011 \Rightarrow$  viene visto come  $(1,011) \Rightarrow a = -011$  (*-tre*)

NB: 0000 rappresenta *+zero*, mentre 1000 rappresenta *-zero*.

| <b>A</b> | $\{0,1\}^4$ | <b>a</b> |
|----------|-------------|----------|
| 0        | 0000        | +0       |
| 1        | 0001        | +1       |
| 2        | 0010        | +2       |
| 3        | 0011        | +3       |
| 4        | 0100        | +4       |
| 5        | 0101        | +5       |
| 6        | 0110        | +6       |
| 7        | 0111        | +7       |
| 8        | 1000        | -0       |
| 9        | 1001        | -1       |
| 10       | 1010        | -2       |
| 11       | 1011        | -3       |
| 12       | 1100        | -4       |
| 13       | 1101        | -5       |
| 14       | 1110        | -6       |
| 15       | 1111        | -7       |

**Rappresentazione di interi  
in modulo e segno su  
calcolatore con  $p=4$  bit**

numero negativo  $\Leftrightarrow$  bit più significativo  
della rappresentazione uguale a 1  
(*zero* rappresentato due volte)

**Intervallo di rappresentabilità in modulo e segno su  $p$  bit**  
(doppia rappresentazione dello zero)

$$[-(2^{p-1}-1), +2^{p-1}-1]$$

- $p = 4$   $[-7, +7]$
- $p = 8$   $[-127, +127]$
- $p = 16$   $[-32767, +32767]$

**NB:** prima di applicare l'algoritmo per  $a \Rightarrow A$  occorre verificare che  $a$  sia rappresentabile su  $p$  bit, altrimenti l'algoritmo conduce a risultati sbagliati. Ad esempio:

tentando di rappresentare  $a = -9$  su  $p = 4$  bit, si ottiene:

$A = (\text{segno}_a, \text{ABS}_a)$ , dove  $\text{segno}_a = 1$  e  $\text{ABS}_a = 9$   
ma il naturale 9 (1001) non è rappresentabile su 3 bit!!

23

**Seconda rappresentazione: *rappresentazione in complemento a 2***  
**Trasformazione  $a \Rightarrow A$**

Sia  $a$  (es.  $a = +3$ ,  $a = -3$ , ...) il numero intero che si vuole rappresentare **in complemento a 2** su  $p$  bit. La rappresentazione  $A$  (es. 0011, 1101, ...) di  $a$  è data da:

$$A = a_{p-1} \dots a_0 = (a \geq 0) ? \text{ABS}_a : (2^p - \text{ABS}_a)$$

dove sia  $\text{ABS}_a$  che  $(2^p - \text{ABS}_a)$  sono rappresentati in base due come numeri naturali su  $p$  bit.

Ad esempio, per  $p = 4$  si ha:

$a = 0 \Rightarrow \text{ABS}_a = 0$ , e il naturale 0 ha rappr. 0000 su 4 bit  $\Rightarrow A = 0000$

$a = 1 \Rightarrow \text{ABS}_a = 1$ , e il naturale 1 ha rappr. 0001 su 4 bit  $\Rightarrow A = 0001$

$a = 7 \Rightarrow \text{ABS}_a = 7$ , e il naturale 7 ha rappr. 0111 su 4 bit  $\Rightarrow A = 0111$

$a = -1 \Rightarrow \text{ABS}_a = 1$ ,  $16 - 1 = 15$ , dove il naturale 15 ha rappr. 1111 su 4 bit  $\Rightarrow A = 1111$

$a = -2 \Rightarrow \text{ABS}_a = 2$ ,  $16 - 2 = 14$ , dove il naturale 14 ha rappr. 1110 su 4 bit  $\Rightarrow A = 1110$

$a = -8 \Rightarrow \text{ABS}_a = 8$ ,  $16 - 8 = 8$ , dove il naturale 8 ha rappr. 1000 su 4 bit  $\Rightarrow A = 1000$

NB: La rappresentazione in complemento a 2 è anche detta in *complemento alla base*. Infatti lo stesso procedimento può essere generalizzato per rappresentare interi in basi diverse da due.

24

## Seconda rappresentazione: *rappresentazione in complemento a 2* Trasformazione $A \Rightarrow a$

Data una rappresentazione  $A = a_{p-1} \dots a_0$  di un intero **in complemento a due** su  $p$  bit, come si risale all'intero  $a$  da esso rappresentato?

$$a = (a_{p-1} == 0) ? +A : -(2^{p-1} - A)$$

dove sia  $A$  che  $(2^{p-1} - A)$  vengono visti come naturali su  $p$  bit.

Ad esempio, per  $p = 4$  si ha:

$A = 0000 \Rightarrow a = 0$  (*zero*)

$A = 0001 \Rightarrow a = +1$  (*+uno*)

$A = 0111 \Rightarrow a = +7$  (*+sette*)

$A = 1000 \Rightarrow 16-8 = 8 \Rightarrow a = -8$  (*-otto*)

$A = 1001 \Rightarrow 16-9 = 7 \Rightarrow a = -7$  (*-sette*)

$A = 1111 \Rightarrow 16-15=1 \Rightarrow a = -1$  (*-uno*)

| $A$ | $\{0,1\}^4$ | $a$ |
|-----|-------------|-----|
|-----|-------------|-----|

|    |      |    |
|----|------|----|
| 0  | 0000 | 0  |
| 1  | 0001 | +1 |
| 2  | 0010 | +2 |
| 3  | 0011 | +3 |
| 4  | 0100 | +4 |
| 5  | 0101 | +5 |
| 6  | 0110 | +6 |
| 7  | 0111 | +7 |
| 8  | 1000 | -8 |
| 9  | 1001 | -7 |
| 10 | 1010 | -6 |
| 11 | 1011 | -5 |
| 12 | 1100 | -4 |
| 13 | 1101 | -3 |
| 14 | 1110 | -2 |
| 15 | 1111 | -1 |

**Rappresentazione di interi  
in complemento a due su  
calcolatore con  $p=4$  bit**

Anche in questo caso:

*numero negativo  $\Leftrightarrow$  bit più significativo  
della rappresentazione uguale a 1*

Inoltre, a differenza della  
rappresentazione in modulo e segno,  
non viene sprecata nessuna  
rappresentazione (lo zero è  
rappresentato una volta sola)

## Intervallo di rappresentabilità in complemento a 2 su $p$ bit

$$[-2^{p-1}, +2^{p-1}-1]$$

- $p = 4$   $[-8, +7]$
- $p = 8$   $[-128, +127]$
- $p = 16$   $[-32768, +32767]$

**NB:** prima di applicare l'algoritmo per  $a \Rightarrow A$  occorre verificare che  $a$  sia rappresentabile su  $p$  bit, altrimenti l'algoritmo conduce a risultati sbagliati.

Ad esempio, tentando di rappresentare  $a = -9$  su  $p = 4$  bit, si ottiene:

$$A = (2^4 - 9) = 16 - 9 = 7 \Rightarrow 0111,$$

ma è sbagliato! Infatti  $-9$  non è rappresentabile su 4 bit, ne servono almeno 5!

Che il risultato fosse sbagliato si poteva dedurre dal fatto che la rappresentazione del negativo  $-9$  iniziava per 0 (0111 è infatti la rappresentazione di  $a = +7$  su 4 bit!).

(su 5 bit,  $a = -9$  ha rappresentazione  $(2^5 - 9) = 23 \Rightarrow A = 10111$ )

27

### Terza Rappresentazione: *rappresentazione con bias* Trasformazione $a \Rightarrow A$

Sia  $a$  (es.  $a = +3$ ,  $a = -3$ , ...) il numero intero che si vuole rappresentare *in rappresentazione con bias* su  $p$  bit. La rappresentazione  $A$  (es. 1010, 0100, ...) di  $a$  è data da:

$$A = a_{p-1} \dots a_0 = a + (2^{p-1} - 1)$$

dove  $a + (2^{p-1} - 1)$  è supposto essere non negativo e dunque viene rappresentato come un naturale su  $p$  bit. La quantità  $(2^{p-1} - 1)$  è detta *bias*.

Ad esempio, per  $p = 4$  si ha:

|                                              |                                                                |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| $a = 0 \Rightarrow 0 + (2^{4-1} - 1) = 7,$   | e il naturale 7 ha rapp. 0111 su 4 bit $\Rightarrow A = 0111$  |
| $a = 1 \Rightarrow 1 + (2^{4-1} - 1) = 8,$   | e il naturale 8 ha rapp. 1000 su 4 bit $\Rightarrow A = 1000$  |
| $a = 8 \Rightarrow 8 + (2^{4-1} - 1) = 15,$  | e il naturale 15 ha rapp. 1111 su 4 bit $\Rightarrow A = 1111$ |
| $a = -1 \Rightarrow -1 + (2^{4-1} - 1) = 6,$ | e il naturale 6 ha rapp. 0110 su 4 bit $\Rightarrow A = 0110$  |
| $a = -2 \Rightarrow -2 + (2^{4-1} - 1) = 5,$ | e il naturale 5 ha rapp. 0101 su 4 bit $\Rightarrow A = 0101$  |
| $a = -7 \Rightarrow -7 + (2^{4-1} - 1) = 0,$ | e il naturale 0 ha rapp. 0000 su 4 bit $\Rightarrow A = 0000$  |

**NB1:** questa rappresentazione è anche detta *rappresentazione con polarizzazione* o *rappresentazione con traslazione*

**NB2:** come si vedrà nelle prossime slides, questa rappresentazione viene utilizzata nella rappresentazione dei numeri reali in virgola mobile

28

**Terza Rappresentazione: *rappresentazione con bias***  
**Trasformazione  $A \Rightarrow a$**

Sia **A** (es. 1010, 0100, ...) il numero intero che si vuole rappresentare *in rappresentazione con bias* su  $p$  bit. La rappresentazione **a** (es.  $a=+3$ ,  $a=-3$ , ...) di **a** è data da:

$$a = A - (2^{p-1} - 1)$$

dove A viene visto come numero naturale su  $p$  bit.

Ad esempio, per  $p = 4$  si ha:

**A** = 0111  $\Rightarrow 7 - (2^{4-1} - 1) = 0 \Rightarrow a = 0$   
**A** = 1000  $\Rightarrow 8 - (2^{4-1} - 1) = 1 \Rightarrow a = 1$   
**A** = 1111  $\Rightarrow 15 - (2^{4-1} - 1) = 8 \Rightarrow a = 8$   
**A** = 0110  $\Rightarrow 6 - (2^{4-1} - 1) = -1 \Rightarrow a = -1$   
**A** = 0101  $\Rightarrow 5 - (2^{4-1} - 1) = -2 \Rightarrow a = -2$   
**A** = 0000  $\Rightarrow 0 - (2^{4-1} - 1) = -7 \Rightarrow a = -7$

**NB:** Lo zero viene rappresentato una sola volta (come accade in compl. a 2).

**Intervallo di rappresentabilità nella *rappresentazione con bias***

$$[-2^{(p-1)} - 1, +2^{(p-1)}], \text{ ossia } [-bias, bias+1]$$

- $p = 4$   $[-7, +8]$  ( $bias=7$ )
- $p = 5$   $[-15, +16]$  ( $bias=15$ )
- $p = 7$   $[-127, +128]$  ( $bias=127$ )
- $p = 10$   $[-1023, +1024]$  ( $bias=1023$ )
- $p = 14$   $[-16383, +16384]$  ( $bias=16383$ )

**NB:** prima di applicare l'algoritmo per  $a \Rightarrow A$  occorre verificare che  $a$  sia rappresentabile su  $p$  bit, altrimenti l'algoritmo conduce a risultati sbagliati.

Ad esempio, tentando di rappresentare  $a=-9$  su  $p=4$  bit, si ottiene:  
 $A = -9 + (2^{4-1} - 1) = -9 + 7 = -2$ , che non è un numero naturale!



## Numeri Interi (12/14)

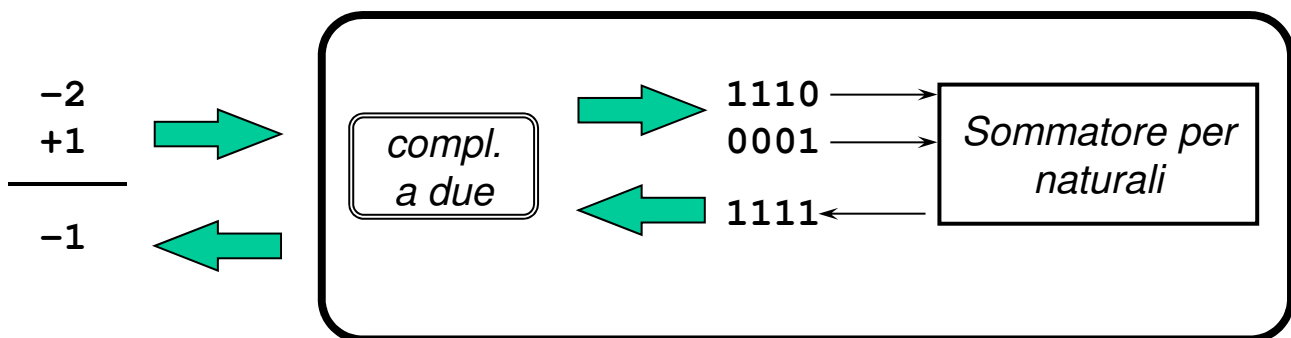
| A  | $\{0,1\}^5$ | $a^{ms}$ | $a^{c2}$ | $a^{bias}$ |
|----|-------------|----------|----------|------------|
| 0  | 00000       | +0       | 0        | -15        |
| 1  | 00001       | +1       | +1       | -14        |
| 2  | 00010       | +2       | +2       | -13        |
| 3  | 00011       | +3       | +3       | -12        |
| 4  | 00100       | +4       | +4       | -11        |
| 5  | 00101       | +5       | +5       | -10        |
| 6  | 00110       | +6       | +6       | -9         |
| 7  | 00111       | +7       | +7       | -8         |
| 8  | 01000       | +8       | +8       | -7         |
| 9  | 01001       | +9       | +9       | -6         |
| 10 | 01010       | +10      | +10      | -5         |
| 11 | 01011       | +11      | +11      | -4         |
| 12 | 01100       | +12      | +12      | -3         |
| 13 | 01101       | +13      | +13      | -2         |
| 14 | 01110       | +14      | +14      | -1         |
| 15 | 01111       | +15      | +15      | 0          |
| 16 | 10000       | -0       | -16      | +1         |
| 17 | 10001       | -1       | -15      | +2         |
| 18 | 10010       | -2       | -14      | +3         |
| 19 | 10011       | -3       | -13      | +4         |
| 20 | 10100       | -4       | -12      | +5         |
| 21 | 10101       | -5       | -11      | +6         |
| 22 | 10110       | -6       | -10      | +7         |
| 23 | 10111       | -7       | -9       | +8         |
| 24 | 11000       | -8       | -8       | +9         |
| 25 | 11001       | -9       | -7       | +10        |
| 26 | 11010       | -10      | -6       | +11        |
| 27 | 11011       | -11      | -5       | +12        |
| 28 | 11100       | -12      | -4       | +13        |
| 29 | 11101       | -13      | -3       | +14        |
| 30 | 11110       | -14      | -2       | +15        |
| 31 | 11111       | -15      | -1       | +16        |

**Rappresentazioni degli interi su  $p=5$  bit messe a confronto**

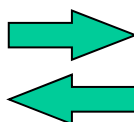
**Osservazione:**  
*In complemento a due,  $a=-1$  è sempre rappresentazione dalla sequenza di  $p$  bit a 1 (11...11), qualunque sia il valore di  $p$ .*

31

## Numeri Interi (13/14)



Operazioni su  
numeri



Operazioni sulle  
rappresentazioni

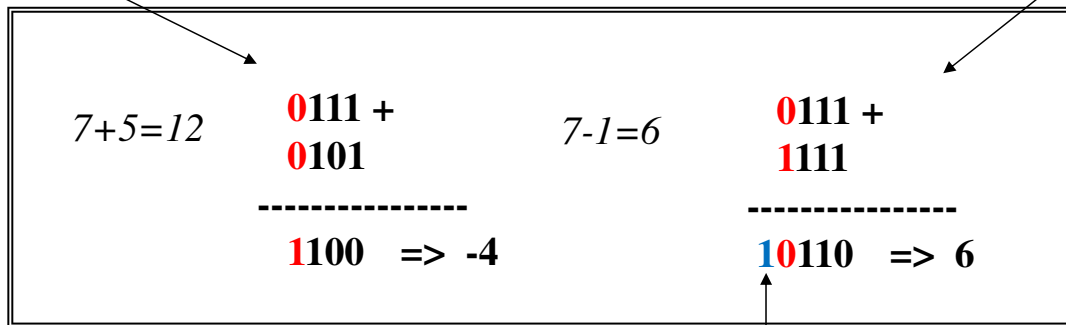
**QUESTO è il motivo per cui i calcolatori rappresentano gli interi in complemento a due: non occorre una nuova circuiteria per sommare e sottrarre numeri interi, viene utilizzata la stessa dei numeri naturali!**

32

Sommando due numeri interi si verifica un **overflow** quando i due numeri hanno lo stesso segno ed il risultato ha segno diverso

**Overflow**

**Ok**



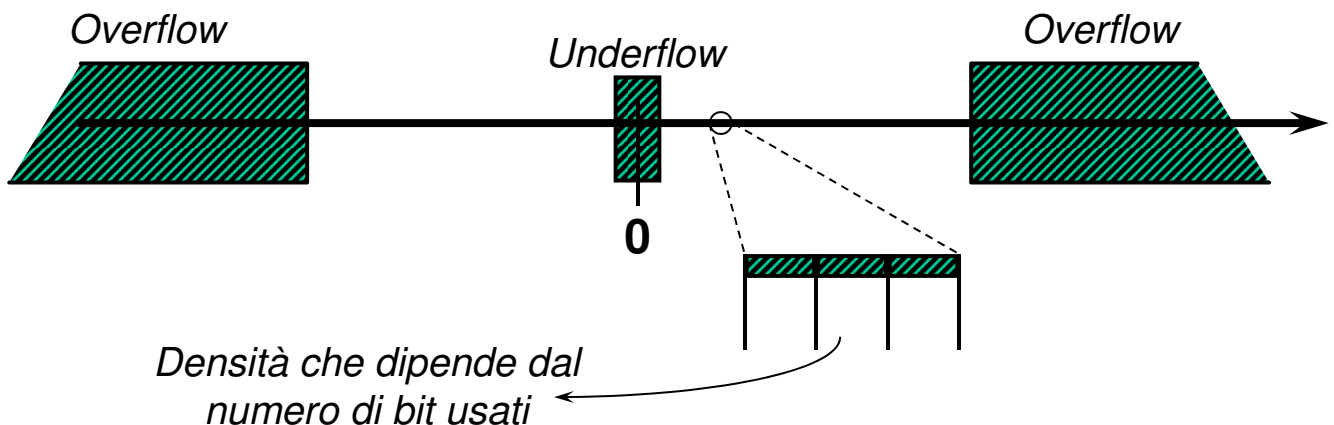
NB: L'1 più significativo viene scartato.  
0110 su 4 bit è il risultato corretto cercato

33

## Numeri Reali

**Sottoinsieme discreto** dei Numeri Razionali

Sequenze di bit



34

## Numeri Reali – Virgola fissa (1/5)

- ☐ Si usa un numero fisso di bit per la parte intera ed un numero fisso di bit per la parte frazionaria.
- ☐ Sia  $r$  un numero reale da rappresentare. Di seguito, indichiamo con  $I(r)$  la parte intera e con  $F(r)$  la parte frazionaria di  $r$
- ☐ Siano  $p$  i bit per rappresentare  $r$ :  $f$  per la parte frazionaria e  $(p-f)$  i bit la parte intera:

$$R = a_{p-f-1} \dots a_0 . a_{-1} \dots a_{-f} \quad r \cong \sum_{i=-f}^{p-f-1} a_i \beta^i = a_{p-f-1} \beta^{p-f-1} + \dots + a_0 \beta^0 + \underbrace{a_{-1} \beta^{-1} + \dots + a_{-f} \beta^{-f}}_{\substack{\text{parte} \\ \text{frazionaria}}}$$

Esempio: +1110.01 in base *due* vale +14.25 in base *dieci*

- ☐ NB: La virgola non si rappresenta
- ☐ La parte intera  $I(r)$  si rappresenta con le tecniche note
- ☐ Per la parte frazionaria si usa il procedimento seguente:

35

## Numeri Reali – Virgola fissa(2/5)

**Si usa la così detta procedura *parte frazionaria-parte intera*:**

$$f_0 = F(r)$$

**Se  $f_0 \neq 0$  eseguire la seguente procedura iterativa:**

$$f_{-1} = F(f_0 * 2) \quad a_{-1} = I(f_0 * 2)$$

$$f_{-2} = F(f_{-1} * 2) \quad a_{-2} = I(f_{-1} * 2)$$

...

**fino a che  $f_j$  è uguale a zero oppure si è raggiunta la precisione desiderata**

**Esempio:**

$$p = 16 \text{ e } f = 5$$

$$r = +331,6875$$

36

## Numeri Reali – Virgola fissa(3/5)

| QUOZIENTE | RESTO |
|-----------|-------|
| 331       | -     |
| 165       | 1     |
| 82        | 1     |
| 41        | 0     |
| 20        | 1     |
| 10        | 0     |
| 5         | 0     |
| 2         | 1     |
| 1         | 0     |
| 0         | 1     |



- Dalla rappresentazione dei numeri naturali:  $331 \Leftrightarrow 101001011$ ;

37

## Numeri Reali – Virgola fissa(4/5)

| F                                              | I                             |
|------------------------------------------------|-------------------------------|
| $f_1 = F(0.6875 * 2 = \mathbf{1.375}) = 0.375$ | $a_1 = I(1.375) = \mathbf{1}$ |
| $f_2 = F(0.375 * 2 = \mathbf{0.75}) = 0.75$    | $a_2 = I(0.75) = \mathbf{0}$  |
| $f_2 = F(0.75 * 2 = \mathbf{1.5}) = 0.5$       | $a_3 = I(1.5) = \mathbf{1}$   |
| $f_3 = F(0.5 * 2 = \mathbf{1.0}) = \mathbf{0}$ | $a_4 = I(1.0) = \mathbf{1}$   |



- $r = +10100101110110 \Rightarrow R = 0010100101110110$
- Parte frazionaria ->
 
$$1 * 2^{-1} + 0 * 2^{-2} + 1 * 2^{-3} + 1 * 2^{-4} \rightarrow 0,5 + 0,125 + 0,0625 \rightarrow 0,6875$$
- Dall'algoritmo precedente:  $0,6875 \Leftrightarrow 0,1011$
- $r = (+101001011,1011)$  base due

38

## ERRORE DI TRONCAMENTO

Rappresentare  $r = 2.3$  con  $f = 6$ .

| F                                           | I                           |
|---------------------------------------------|-----------------------------|
| $f_1 = F(0.3 \cdot 2 = \mathbf{0.6}) = 0.6$ | $a_1 = I(\mathbf{0.6}) = 0$ |
| $f_2 = F(0.6 \cdot 2 = \mathbf{1.2}) = 0.2$ | $a_2 = I(\mathbf{1.2}) = 1$ |
| $f_3 = F(0.2 \cdot 2 = \mathbf{0.4}) = 0.4$ | $a_3 = I(\mathbf{0.4}) = 0$ |
| $f_4 = F(0.4 \cdot 2 = \mathbf{0.8}) = 0.8$ | $a_4 = I(\mathbf{0.8}) = 0$ |
| $f_5 = F(0.8 \cdot 2 = \mathbf{1.6}) = 0.6$ | $a_5 = I(\mathbf{0.6}) = 0$ |
| $f_6 = F(0.6 \cdot 2 = \mathbf{1.2}) = 0.2$ | $a_6 = I(\mathbf{0.8}) = 1$ |

Per esprimere  $r$  sono necessarie un numero infinito di cifre!

$(10.0 \text{ 1001 1001 1001} \dots = 10.0\underline{1001}$  dove 1001 è la parte periodica)

Ne abbiamo a disposizione solo 6. Quindi si opera un troncamento alla 6<sup>a</sup> cifra dopo la virgola.

Quindi, in realtà si rappresenta non  $r$  ma il numero  $r'$

$$r' = 10.010011$$

$$r' = 2 + 2^{-2} + 2^{-5} + 2^{-6} = 2 + 0.25 + 0.03125 + 0.015625 = 2.296875$$

L'errore di troncamento è  $(2.3 - 2.296875) = 0,00312499$  ( $< 2^{-6} = 0.015625$ )

39

## CALCOLO DI FISICA ASTRONOMICA

$$m_e = 9 \times 10^{-28} \text{ gr}; m_{\text{sole}} = 2 \times 10^{+33} \text{ gr} \Rightarrow \text{Intervallo di variazione} \approx 10^{+60}.$$

Sarebbero quindi necessarie almeno 62 cifre, di cui 28 per la parte frazionaria.

Si hanno tante cifre perché l'intervallo da rappresentare è grande  $\Rightarrow$  si separa l'intervallo di rappresentabilità dalla precisione, cioè dal numero di cifre.

### Notazione Scientifica

$$r = \pm m \cdot \beta^e \quad m = \text{mantissa}; e = \text{esponente}$$

L'intervallo di rappresentabilità è fissato dal numero di cifre dell'esponente.

La precisione è fissata dal numero di cifre della mantissa.

### Diverse rappresentazioni

Si fissa una forma standard

$$3.14 \quad \textcircled{0.314 \cdot 10^{+1}} \quad 31.4 \cdot 10^{-1}$$

40

Rappresentazione di un numero binario in virgola mobile:

+1110.01 numero reale binario in virgola fissa

(alcune possibili rappresentazioni in virgola mobile)

Numeri reali *normalizzati*:

- mantissa con parte intera costituita da un solo bit di valore 1
- rappresentazione è una tripla costituita da tre numeri naturali

$$r \leftrightarrow R = \langle s, \quad E, \quad F \rangle \quad \text{Standard IEEE 754-1985}$$

La rappresentazione  $R$  è composta da tre naturali ( $s$ ,  $E$  ed  $F$ ), dove:

$s$  = codifica del segno (1 bit)

$F$  = codifica della parte frazionaria della mantissa su  $G$  bit

$E$  = codifica dell'esponente su  $K$  bit

$$r = (s == 0)? [(1+f) \cdot due^e] : [-(1+f) \cdot due^e]$$

$f = F/2^G$  è la parte frazionaria della mantissa ( $m=1+f= 1+F/2^G$ )

$e = +E - (2^{K-1} - 1)$  è l'esponente rappresentato dal numero naturale  $E$  (*rappresentazione con polarizzazione*)

Conseguenza dell' "uno implicito"  $\Rightarrow$  *lo zero non è rappresentabile!*

**Half precision: 16 bit,  $K = 5$  e  $G = 10$ . Esempi di trasformazione  $R \Rightarrow r$**

*Esempio 1*

$R = \{1,10011,1110100101\}$  rappresenta il numero reale negativo con:

$$f = F/2^G = F/2^{dieci} = 0.1110100101$$

$$e = E - (2^{K-1} - 1) = +10011 - (+01111) = +100 \quad (bias=quindici)$$

$$r = -1.1110100101 \cdot due^{+quattro} = -11110.100101$$

$$r = -30.578125 \text{ in base } dieci$$

*Esempio 2*

$R = \{0,01111,0000000001\}$  rappresenta il numero reale positivo:

$$f = F/2^M = 1/2^G = due^{-dieci} = 0.0009765625$$

$$e = E - (2^{K-1} - 1) = 01111 - 01111 = 15 - 15 = 0$$

$$r = +1.0000000001 \cdot due^{+zero} = 2.0009765625 \cdot due^{+zero} = 2.0009765625$$

$$r = + 2.0009765625 \text{ in base } dieci$$

**Half precision, esempi di trasformazione  $r \Rightarrow R$**

*Esempio A – Rappresentare  $r=2$  in half precision*

La rappresentazione di  $r=2$  è  $R = \{0,10000,0000000000\}$ . Infatti, decodificando:

$$f = F/2^G = 0$$

$$e = E - (2^{K-1} - 1) = 10000 - 01111 = 1$$

$$r = +1.0000000000 \cdot due^{+1} = 2 \text{ in base } dieci$$

*Esempio B – Rappresentare  $r=0.5$  in half precision*

La rappresentazione di  $r = 0.5$  è  $R = \{0,01110,0000000000\}$ . Infatti, decodificando:

$$f = F/2^G = 0$$

$$e = E - (2^{K-1} - 1) = 01110 - 01111 = -1$$

$$r = +1.0000000000 \cdot due^{-1} = 0.5 \text{ in base } dieci$$

### Half precision, esempi di trasformazione $r \Rightarrow R$

*Esempio C – Rappresentare  $r=2.3$  in half precision*

Sapendo che  $r$  ha rappresentazione in virgola fissa  $10.01001$ , iniziamo a portarlo in forma normalizzata:  $1.001001 \cdot due^{+1}$

Ora ci servono 10 cifre per la parte frazionaria della mantissa, le restanti verranno scartate, provocando il consueto *errore di troncamento*:

$$1.00 \underbrace{1001 \ 1001}_{10 \text{ cifre}} \cancel{1001 \ 1001} \dots \cdot due^{+1}$$

*F (prime 10 cifre a destra della virgola. Le altre vengono ignorate)*

A questo punto la rappresentazione è immediata (per trovare  $E$  si faccia riferimento all'esempio A:  $R=\{0,10000,0010011001\}$ )

45

Esempio (numeri con modulo massimo, i cosiddetti  $\pm \infty$ ):

$$R=\{0,11111,1111111111\} \quad (\text{massimo numero rappresentabile, } +\infty)$$

$$R=\{1,11111,1111111111\} \quad (\text{minimo numero rappresentabile, } -\infty)$$

$$f = F/2^G = F/2^{\text{dieci}} = 0.1111111111$$

$$e = +E - (2^{K-1} - 1) = +11111 - (+01111) = +10000 \text{ (+sedici)}$$

$$|r| = 1.1111111111 \cdot due^{+10000} < 2^{(2^{(K-1)+1})} = 2^{\text{bias}+2} = 2^{17} = 131072$$

$$|r| = 131008 \cong 1.3 \cdot 10^5 \text{ in base dieci}$$

Riassumendo, nella rappresentazione *half precision*:

$$\text{il «} +\infty \text{» corrisponde a } \cong 2^{+17}$$

$$\text{il «} -\infty \text{» corrisponde a } \cong -2^{+17}$$

*NB: L'intervallo di rappresentabilità  $[-\infty, +\infty]$  è approssimabile dal seguente:  $[\cong -2^{\text{bias}+2}, \cong 2^{\text{bias}+2}]$*

46



Esempio (numeri con modulo minimo, i cosiddetti  $\pm 0$ ):

$R = \{0, 00000, 0000000000\}$  (minimo numero positivo, +0)

$R = \{1, 00000, 0000000000\}$  (massimo numero negativo, -0)

$$f = F/2^G = F/2^{\text{dieci}} = 0.0000000000$$

$$e = +E - (2^{K-1} - 1) = +00000 - (+01111) = -01111 = -\text{quindici}$$

$$|r| = 1.0000000000 \cdot \text{due}^{-01111} = \mathbf{2^{-bias}}$$

$$|r| = 2^{-15} \cong 0.31 \cdot 10^{-4}$$

Riassumendo, nella rappresentazione *half precision*:

il «+0» corrisponde a  $2^{-15} \cong 0.31 \cdot 10^{-4}$

il «-0» corrisponde a  $-2^{-15} \cong -0.31 \cdot 10^{-4}$

Standard IEEE 754-1985 prevede:

Rappresentazione in **single precision** su **32 bit** con **K = 8** e **G = 23**

Intervallo di rappresentabilità:

$$\text{massimo modulo} \quad \cong 2^{(bias+2)} = 2^{+129} \cong 6.8 \cdot 10^{+38}$$

$$\text{minimo modulo} \quad = 2^{-bias} = 2^{-127} \cong 0.58 \cdot 10^{-38}$$

Rappresentazione in **double precision** su **64 bit** con **K = 11** e **G = 52**

Intervallo di rappresentabilità:

$$\text{massimo modulo} \quad \cong 2^{(bias+2)} = 2^{+1025} \cong 3.6 \cdot 10^{+308}$$

$$\text{minimo modulo} \quad = 2^{-bias} = 2^{-1023} \cong 1.1 \cdot 10^{-308}$$

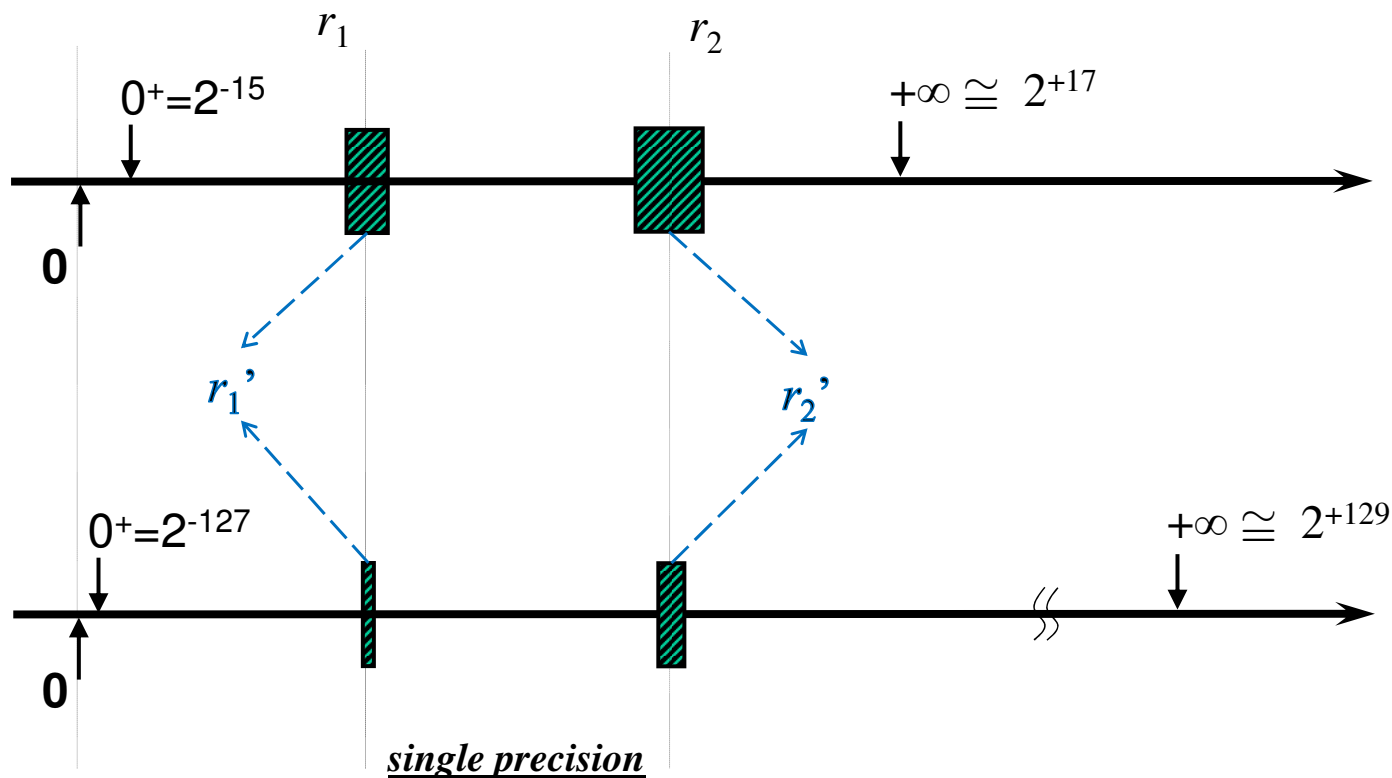
IEEE 754-2008 aggiunge:

rappresentazione in **quadruple precision** su **128 bit** con **K = 15** e **G = 112**

$$\text{massimo modulo} \quad \cong 2^{(bias+2)} = 2^{+16385} \cong 1.2 \cdot 10^{+4932}$$

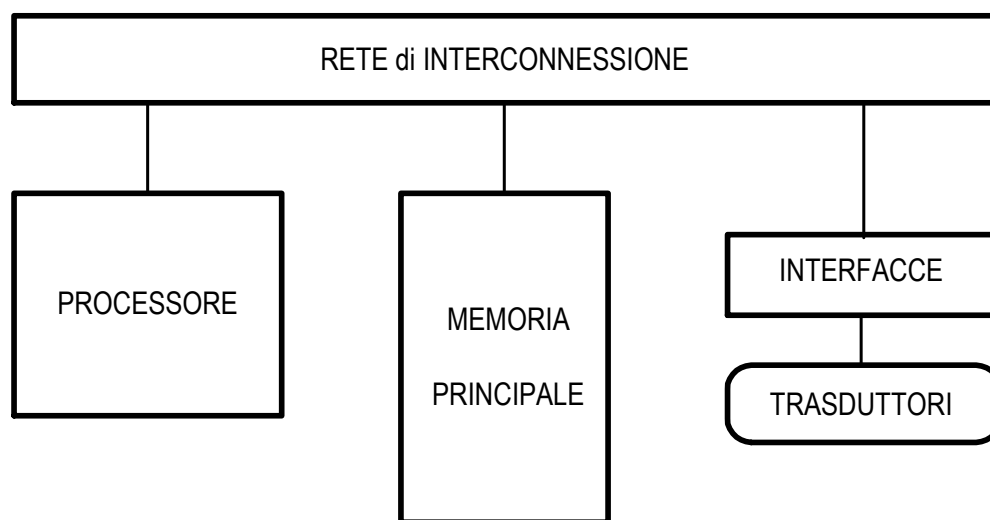
$$\text{minimo modulo} \quad = 2^{-bias} = 2^{-16383} \cong 1.6 \cdot 10^{-4932}$$

half precision



Schema a blocchi di un semplice calcolatore

Architettura di von Neumann (1946)



La memoria contiene dati e programmi (istruzioni) codificati in forma binaria

Il processore ripete all'infinito le azioni seguenti :

- preleva una nuova istruzione dalla memoria
- la decodifica
- la esegue

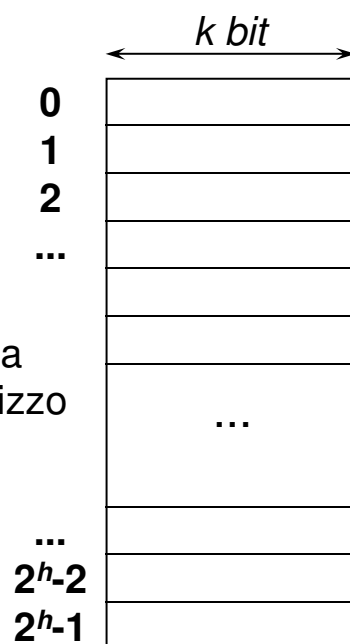
L'esecuzione di un'istruzione può comportare

- » Elaborazione e/o Trasferimento (memoria  $\leftrightarrow$  processore, I/O  $\leftrightarrow$  processore)

Le periferiche permettono al calcolatore di interagire con il mondo esterno

## Struttura logica della memoria

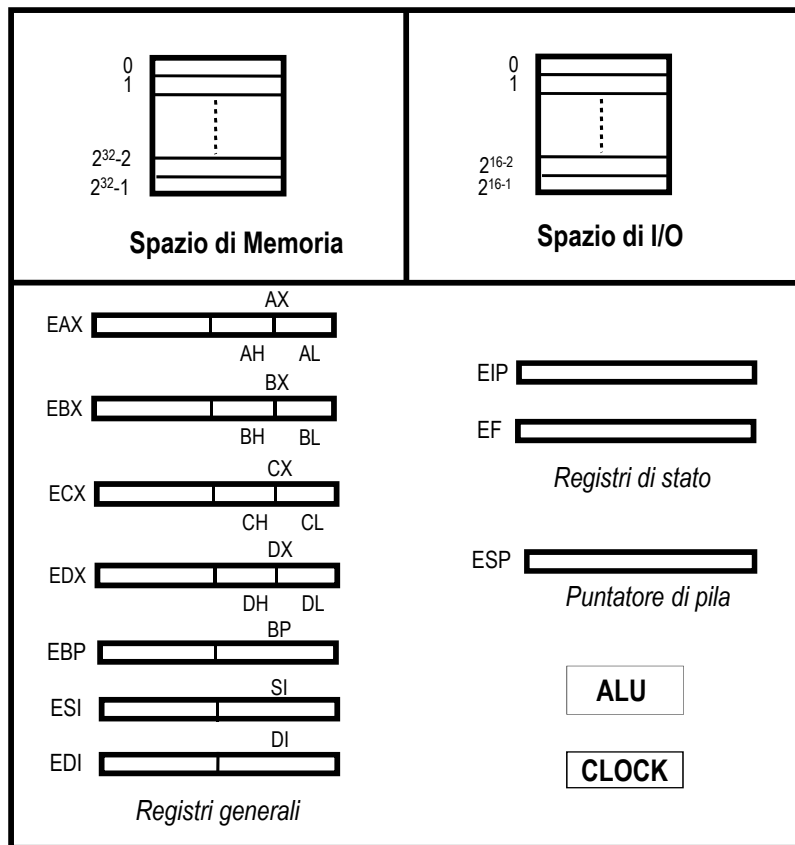
- $2^h$  celle di  $k$  bit ognuna
- Ogni cella ha un indirizzo



### OPERAZIONI

1. LETTURA di UNA cella
2. SCRITTURA di UNA cella

## Struttura logica del processore (1)



53

## Livelli di astrazione dei Linguaggi

Esistono linguaggi a vari livelli di astrazione

Linguaggio macchina      sequenze di bit (difficile da leggere e capire)  
0001001000110100

Linguaggio Assembler      istruzioni macchina espresse con nomi  
simbolici (dipendente dalla macchina)  
MOV \$35, %AL

Linguaggi ad Alto livello indipendenti dalla macchina

```
int main()
{
    ...
}
```

54

## Istruzioni MOV e JMP

**L'istruzione MOV del processore DP.86.32 permette di:**

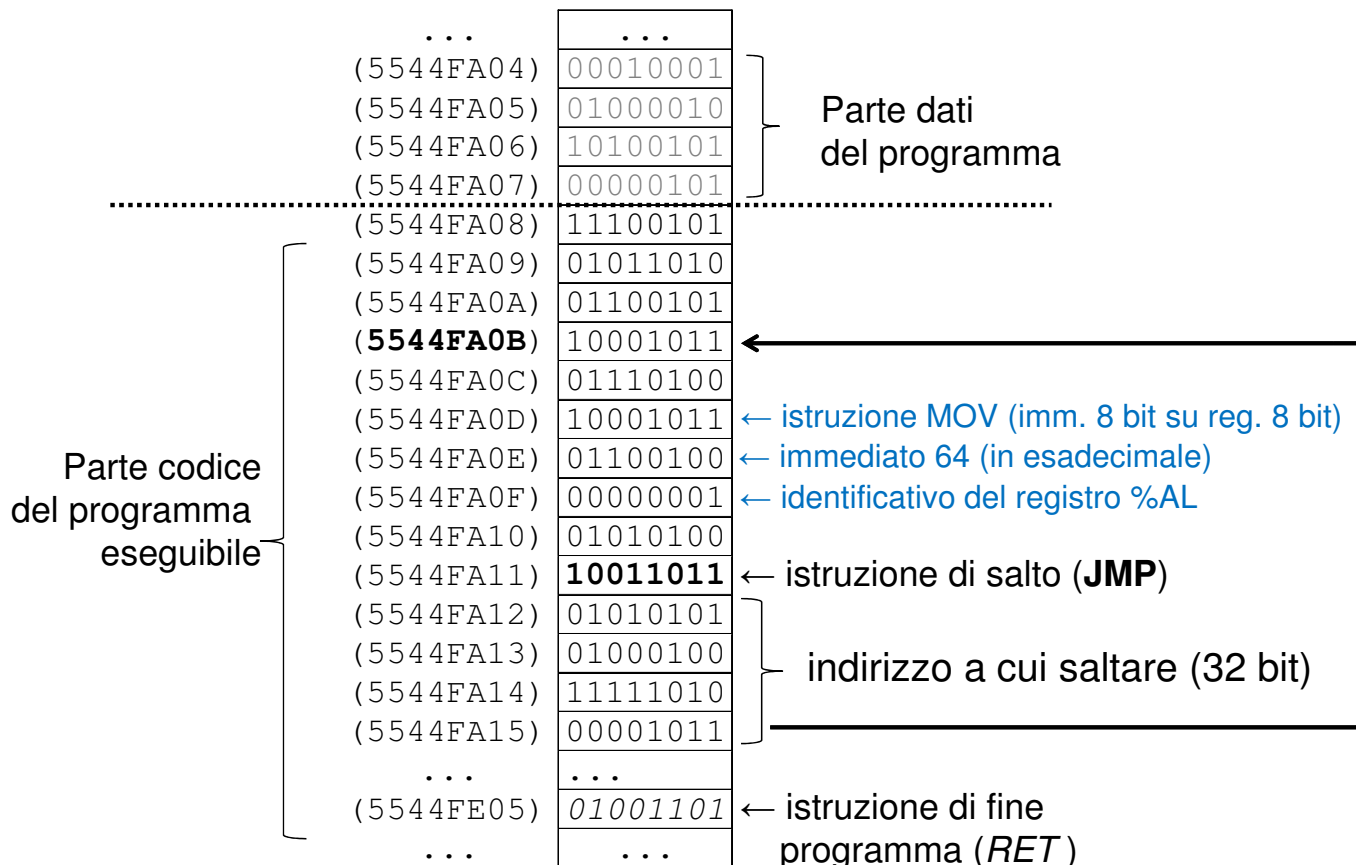
- Copiare un valore (immediato) in un registro  
Es: MOV \$0x64, %AL
- Copiare il contenuto di una cella di memoria in un registro:  
Es: MOV (5544FA04), %BH
- Copiare il contenuto della cella puntata da un registro a 32 bit in un altro registro a 8 bit:  
Es: MOV (%EBX), %CH
- Copiare il contenuto delle **2 celle consecutive** di cui la prima è puntata da un registro a 32 bit in un altro registro a 16 bit:  
Es: MOV (%EDX), %DX
- Copiare il contenuto delle **4 celle consecutive** di cui la prima è puntata da un registro a 32 bit in un altro registro a **32 bit**:  
Es: MOV (%ECX), %EAX

**L'istruzione JMP del processore DP.86.32 permette di saltare all'indirizzo (sempre a 32 bit) specificato:**

Es: JMP 5544FA0B

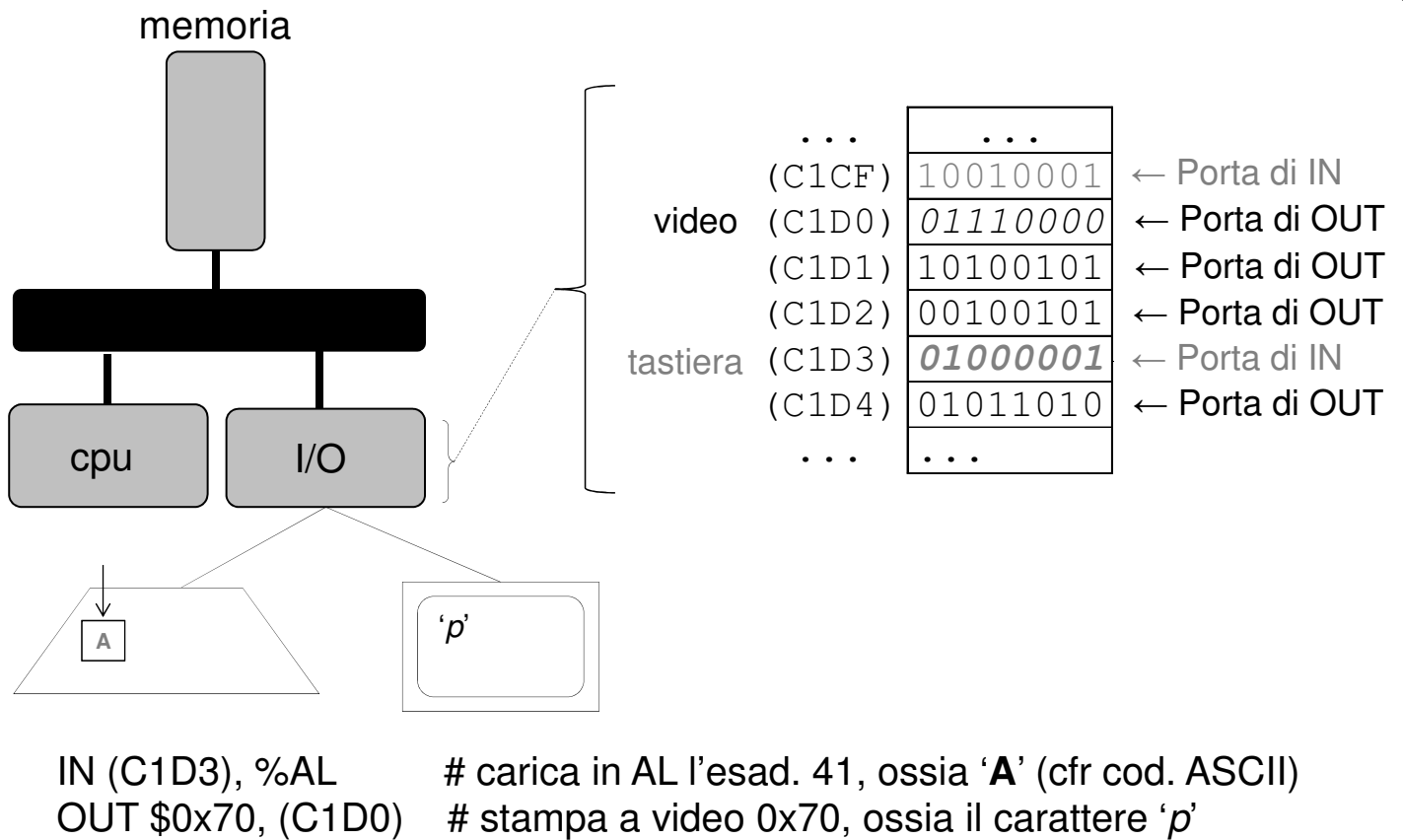
55

## Esempio di programma in memoria



56

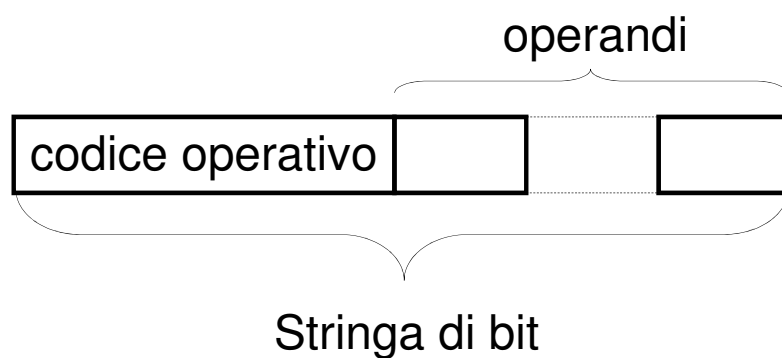
## Lo spazio di ingresso/uscita



57

## Formato delle istruzioni (1/2)

Le istruzioni sono codificate come sequenze di bit.



|         | Codice Operativo | Operandi       |          |
|---------|------------------|----------------|----------|
| Esempio | 10001011         | 01100100       | 00000001 |
|         | MOV              | immediato 0x64 | %AL      |

58

## Formato delle istruzioni (2/2)

OPCODEsize source destination

OPCODEsize source

OPCODEsize destination

Dove size può essere:

B (byte): 8 bit

W (word): 16 bit

L (Long): 32 bit

Esempi:

MOVB (%EBX), %AL

MOVW (%EBX), %AX

MOVL (%EBX), %EAX

59

## Esempio di programma in linguaggio assembler

|          |                     |                                         |
|----------|---------------------|-----------------------------------------|
| 3F0D0100 | 00000000            | Dato da elaborare (una WORD)            |
| 3F0D0102 | 00000000            | Risultato (un BYTE)                     |
| 3F0D0103 |                     |                                         |
| ...      |                     |                                         |
| ...      |                     |                                         |
| 40B1A200 | MOV \$0, %AL        | Azzera il contatore AL                  |
| 40B1A203 | MOV (3F0D0100), %DX | Copia in DX il dato da elaborare        |
| 40B1A207 | CMP %DX, \$0        | Confronta il contenuto di DX con 0      |
| 40B1A211 | JE 40B1A232         | Salta se uguale                         |
| 40B1A215 | SHL %DX             | Trasla a sinistra il contenuto di DX    |
| 40B1A217 | JC 40B1A225         | Salta se CF è settato all'indirizzo 225 |
| 40B1A221 | JMP 40B1A207        | Salta incondizionatamente a 207         |
| 40B1A225 | ADD \$1, %AL        | Incrementa il contatore AL              |
| 40B1A228 | JMP 40B1A207        | Salta incondizionatamente               |
| 40B1A232 | MOV %AL, (3F0D0102) | Memorizza il risultato                  |
| 40B1A236 | HLT                 | ALT                                     |
| ...      |                     |                                         |

60

## Istruzioni operative (1)

### Istruzioni per il trasferimento di dati

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| MOV  | Movimento (ricopiamento)          |
| IN   | Ingresso dati                     |
| OUT  | Uscita dati                       |
| PUSH | Immissione di una word nella pila |
| POP  | Estrazione di una word dalla pila |

### Istruzioni aritmetiche

|      |                                          |
|------|------------------------------------------|
| ADD  | Somma (fra interi oppure naturali)       |
| SUB  | Sottrazione (fra interi oppure naturali) |
| CMP  | Confronto (fra interi oppure naturali)   |
| MUL  | Moltiplicazione (fra naturali)           |
| DIV  | Divisione (fra naturali)                 |
| IMUL | Moltiplicazione (fra interi)             |
| IDIV | Divisione (fra interi)                   |

61

## Istruzioni operative (2)

### Istruzioni logiche

|     |                      |
|-----|----------------------|
| NOT | Not logico bit a bit |
| AND | And logico bit a bit |
| OR  | Or logico bit a bit  |

### Istruzioni di traslazione/rotazione

|     |                        |
|-----|------------------------|
| SHL | Traslazione a sinistra |
| SHR | Traslazione a destra   |
| ROL | Rotazione a sinistra   |
| ROR | Rotazione a destra     |

62



## Istruzioni di controllo

### Istruzioni di salto

|       |                        |
|-------|------------------------|
| JMP   | Salto incondizionato   |
| Jcond | Salto sotto condizione |

### Istruzioni per la gestione dei sottoprogrammi

|      |                            |
|------|----------------------------|
| CALL | Chiamata di sottoprogramma |
| RET  | Ritorno da sottoprogramma  |

### Istruzione di halt

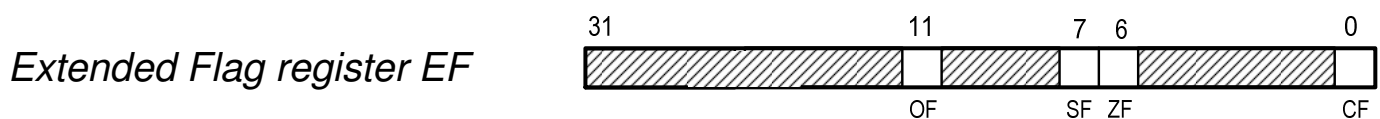
|     |     |
|-----|-----|
| HLT | Alt |
|-----|-----|

63

## Controllo del flusso: salto condizionato e registro dei flag

*Registri di stato:*

*Extended Instruction Pointer EIP: registro che contiene l'indirizzo della prossima istruzione da eseguire*



Carry Flag CF, Zero Flag ZF  
SignFlag SF, Overflow Flag OF

Esempio di test del contenuto dei flag:

Es1: CMP \$0, %AL  
JZ indirizzo\_di\_memoria

Es2: ADD %AL,%BL  
JO indirizzo\_di\_memoria

**NB:**

Alcune istruzioni influenzano i flag, altre no

Ad esempio: la ADD influenza sia CF che OF, ma

- CF va testato nel caso si lavori sui naturali
- OF va testato nel caso si lavori sugli interi

64

## Labels

Ogni istruzione assembler inizia ad un certo indirizzo in memoria (l'indirizzo della cella contenente il primo byte dell'istruzione)

L'indirizzo assoluto di una istruzione sarà noto solo a tempo di esecuzione, quando il programma assembler, reso eseguibile dall'assemblatore e dal linker, verrà caricato in memoria.

Il programmatore può creare delle etichette (dette *labels*), che possono essere utilizzate dal programmatore per indicare l'indirizzo di una istruzione. Sarà compito dell'assemblatore e del linker sostituire l'etichetta con l'indirizzo fisico assoluto.

Esempio di un programma che stampa 5 asterischi a video (il sottoprogramma *outchar* stampa a video il carattere la cui codifica ASCII si trova in %AL):

```
_main:    MOV     $5, %AH
          MOV     $'*', %AL
label:    CALL    outchar      # label conterrà l'indirizzo dell'istruzione
          DEC     %AH          # CALL outchar
          JNZ     label
          RET
.INCLUDE  "utility"
```

65

## Le direttive .BYTE, .FILL e .ASCII

In assembler si può allocare memoria «statica» per delle «variabili». Si tratta dell'equivalente C/C++ delle variabili globali.

Una «variabile» assembler è una etichetta (che corrisponde all'indirizzo della prima cella di memoria in cui inizia la «variabile») seguita da una direttiva assembler che riserva area di memoria.

```
v1:      .BYTE 0x6F, 'k' # alloca un vettore di 2 byte ad "ok"
v2:      .FILL 12, 1    # alloca un vettore di 12 byte (1=byte)
v3:      .FILL 25, 2    # alloca un vettore di 25 word (2=word = 2byte)
v4:      .FILL 10, 4    # alloca un vettore di 10 long (4=long = 4byte)
str:     .ASCII "Ciao Mondo"
```

```
_main:
    MOV     $str, %EBX # copia l'indirizzo di str in EBX
    MOV     $10, %CX
    CALL    outmess
    RET
```

**NB: Le direttive .BYTE e .ASCII calcolano il numero di celle di memoria da allocare ed inoltre provvedono anche alla loro inizializzazione. La .FILL non inizializza.**

66

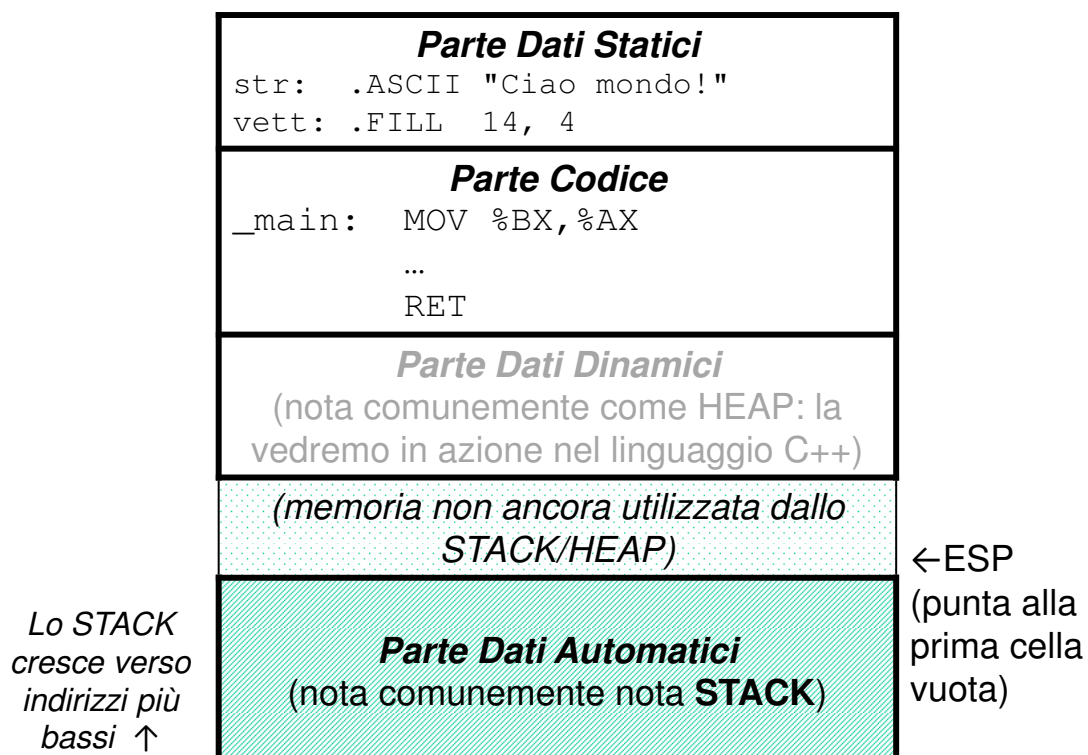
## Lo Stack (1/7)

- Lo STACK è un'area di memoria a disposizione dei programmi (sia Assembler che C/C++)
- Viene gestita mediante strategia FIFO (first in-first out): un nuovo dato può essere immesso oppure prelevato dalla cima allo STACK
- Sfrutta un registro speciale del processore, l'Extended Stack Pointer (ESP)
- L'ESP punta sempre alla prima locazione libera dello STACK

67

## Lo Stack (2/7)

### Struttura di un programma eseguibile in memoria



68

## Le istruzioni PUSH e POP

- L'istruzione PUSH salva il contenuto di un registro a 32 bit nelle 4 celle in cima allo STACK e decrementa ESP di 4

Esempio:

PUSH %EAX

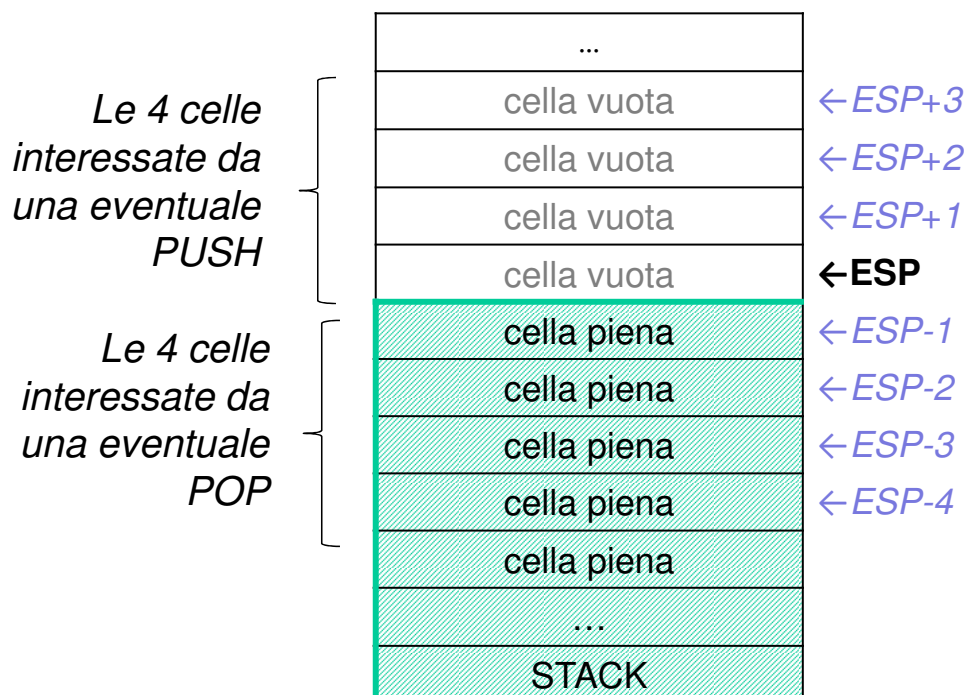
- L'istruzione POP recupera il contenuto delle 4 locazioni in cima allo STACK, lo salva in un registro a 32 bit e incrementa ESP di 4

Esempio

POP %EBX

69

## Funzionamento delle istruzioni PUSH e POP



70

## L'istruzione CALL

- L'istruzione CALL permette di andare ad eseguire un sottoprogramma
- Esempio di chiamata del sottoprogramma `inchar`:

```
04AAFFB3  CALL inchar
04AAFFB8  INC  %EAX
...
```

← *quando si arriva ad eseguire la CALL in EIP ci sarà indirizzo dell'istruzione INC (ad esempio, 04AAFFB8)*

- Concettualmente la CALL equivale alle seguenti istruzioni:

```
PUSH %EIP      # salva 04AAFFB8 sullo STACK
JMP 1E22AF0C   # se inchar inizia a 1E22AF0C
```

NB: la `PUSH %EIP` non si può fare esplicitamente in quanto non fa parte del set delle istruzioni del processore!

71

## L'istruzione RET

- L'istruzione RET permette di tornare ad eseguire il sottoprogramma chiamante a partire dall'istruzione successiva alla CALL

Esempio:

```
1E22AF0C  inchar: IN  (0AFB), %AL
...
RET
```

- Concettualmente, effettua le seguenti operazioni:

```
POP %EIP
JMP %EIP
```

72

Sintetizzando, le istruzioni che utilizzano lo STACK sono:  
CALL, PUSH, POP, e RET

NB:

- Tutte modificano l'ESP
- Alcune modificano anche l'EIP (CALL e RET)

## Sottoprogrammi (1/2)

Qualunque blocco di istruzioni assembler consecutive che inizia con una label e termina con una RET.

Esempio di un sottoprogramma che stampa a video un asterisco:

```
subprog:  PUSHAD          # salva il contenuto di tutti i registri gen.
          MOV  '*', %AL
          CALL outchar
          POPAD          # ripristina il contenuto di tutti i reg. gen.
          RET
```

Le informazioni fra il sottoprogramma chiamante (ad esempio il `_main`) e quello chiamato avviene tramite registri.

```
subprog:  CALL outchar # stampa il carattere messo in %AL dal chiamante
          CALL inchar  # legge un nuovo carattere e lo restituisce in %AL
          RET
```

## Il sottoprogramma principale: `_main`

Ogni programma Assembler deve prevedere un sottoprogramma principale, denominato `_main`.

Quando il file `ascii` (con estensione `.s`) viene compilato per generare il file oggetto `file.o` e poi linkato in un `.exe`, la prima istruzione assembler che verrà eseguita sarà quella che si trova all'indirizzo dell'etichetta `_main`

Alcuni sottoprogrammi di utilità, contenuti nel file assembler `"utility"`

### Input ed output di caratteri e stringhe

`inchar` aspetta un carattere dalla tastiera e mette il suo codice ASCII in `AL`  
`outchar` stampa a video il carattere contenuto in `%AL`  
`outmess` stampa a video gli `N` caratteri che si trovano in memoria a partire dall'indirizzo contenuto in `EBX`. `N` è il naturale contenuto in `CX`.

### Input ed output di naturali e interi su 8 bit

`inbyte` aspetta che vengano inseriti due caratteri (entrambi fra 0-9 o A-F) e poi, interpretandoli come cifre esadecimali, assegna gli 8 bit di `%AL`. Esempio 'E3' => in `AL` ci finisce 11100011  
`outbyte` stampa a video i due caratteri ASCII corrispondenti alle due cifre esadecimali associate al corrente contenuto di `%AL`. Esempio: se il contenuto di `AL` è 01101010 a video viene stampata la stringa "6A"  
`newline` Porta il cursore all'inizio della linea seguente  
(CALL `newline` equivale al `cout<<endl`)

**Informatica** (definizione informale): è la scienza della rappresentazione e dell'elaborazione dell'informazione

**Informatica** (definizione formale dell'Association for Computing Machinery - ACM): è lo studio sistematico degli algoritmi che descrivono e trasformano l'informazione, la loro teoria e analisi, il loro progetto, e la loro efficienza, realizzazione e applicazione.

**Algoritmo:** sequenza precisa e finita di operazioni, comprensibili e perciò eseguibili da uno strumento informatico, che portano alla realizzazione di un compito.

Esempi di algoritmi:

- Istruzioni di montaggio di un elettrodomestico
- Somma in colonna di due numeri
- Bancomat

## Calcolatore elettronico come risolutore di problemi

**Compito dell'esperto informatico:** data la descrizione di un problema, produrre algoritmi (cioè capire la sequenza di passi che portano alla soluzione del problema) e codificarli in programmi.

- La descrizione di un problema non fornisce in generale un modo per risolverlo.
- La descrizione del problema deve essere chiara e completa.

**Calcolatori Elettronici come esecutori di algoritmi:** gli algoritmi vengono descritti tramite programmi, cioè sequenze di istruzioni scritte in un opportuno linguaggio comprensibile al calcolatore.



## Algoritmo (1)

**Algoritmo:** sequenza precisa (non ambigua) e finita di operazioni, che portano alla realizzazione di un compito.

Le operazioni utilizzate appartengono ad una delle seguenti categorie:

### 1. Operazioni sequenziali

Realizzano una singola azione. Quando l'azione è terminata passano all'operazione successiva.

### 2. Operazioni condizionali

Controllano una condizione. In base al valore della condizione, selezionano l'operazione successiva da eseguire.

### 3. Operazioni iterative

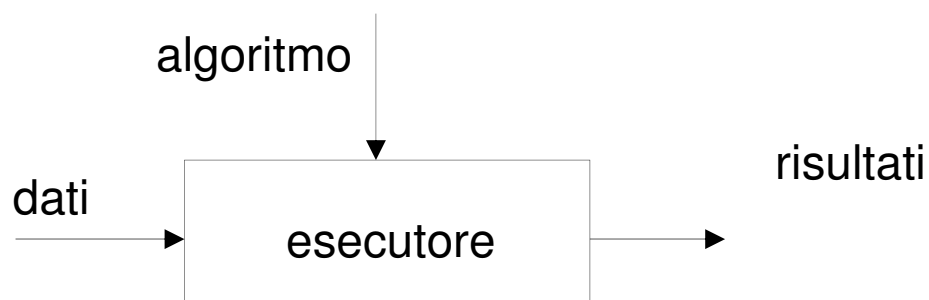
Ripetono l'esecuzione di un blocco di operazioni, finchè non è verificata una determinata condizione.

79

## Algoritmo (2)

L'esecuzione delle azioni nell'ordine specificato dall'algoritmo consente di risolvere il problema.

Risolvere il problema significa produrre risultati a partire da dati in ingresso



L'algoritmo deve essere applicabile ad un qualsiasi insieme di dati in ingresso appartenenti al dominio di definizione dell'algoritmo (se l'algoritmo si applica ai numeri interi deve essere corretto sia per gli interi positivi che per gli interi negativi)

80

### Algoritmo (3)

#### Calcolo equazione $ax+b = 0$

- leggi i valori di  $a$  e di  $b$
- calcola  $-b$
- dividi quello che hai ottenuto per  $a$  e chiama  $x$  il risultato
- stampa  $x$

#### Calcolo del massimo fra due numeri

- leggi i valori di  $a$  e di  $b$
- **se**  $a > b$  stampa  $a$  **altrimenti** stampa  $b$

81

### Algoritmo (4)

#### Calcolo del massimo di un insieme

- scegli un elemento come massimo provvisorio  $max$
- per ogni elemento  $i$  dell'insieme:
  - se**  $i > max$  eleggi  $i$  come nuovo massimo provvisorio  $max$
- il risultato è  $max$

Stabilire se una parola  $P$  precede alfabeticamente una parola  $Q$ .  
Ipotesi:  $P$  e  $Q$  di uguale lunghezza  $> = 1$

**leggi**  $P$  e  $Q$ ; **inizializza** trovato a 0

- **ripeti finché** (trovato vale 0 e lettere non finite)
  - se** prima lettera di  $P <$  prima lettera di  $Q$ 
    - allora** scrivi vero; trovato = 1;
  - altrimenti se** prima lettera di  $P >$  prima lettera di  $Q$ 
    - allora** scrivi falso; trovato = 1;
  - altrimenti** toglie da  $P$  e da  $Q$  la prima lettera
- **se** trovato vale 0 **allora** scrivi falso

82

## Algoritmo (5)

**Eseguibilità:** ogni azione deve essere eseguibile dall'esecutore in un tempo finito

**Non-ambiguità:** ogni azione deve essere univocamente interpretabile dall'esecutore

**Finitezza:** il numero totale di azioni da eseguire, per ogni insieme di dati in ingresso, deve essere finito

Algoritmi equivalenti

- ◆ hanno lo stesso dominio di ingresso
- ◆ hanno lo stesso dominio di uscita
- ◆ in corrispondenza degli stessi valori del dominio di ingresso producono gli stessi valori del dominio di uscita
  
- ◆ Due algoritmi equivalenti
  - Forniscono lo stesso risultato, ma possono avere diversa efficienza e possono essere profondamente diversi

83

## Algoritmo (6)

Esempio: calcolo del Massimo Comun Divisore (MCD) fra due interi  $M$  e  $N$

### Algoritmo 1

- Calcola l'insieme  $A$  dei divisori di  $M$
- Calcola l'insieme  $B$  dei divisori di  $N$
- Calcola l'insieme  $C$  dei divisori comuni
- il massimo comun divisore è il massimo divisore contenuto in  $C$

84

### Algoritmo 2 (di Euclide)

**Se due numeri,  $m$  e  $n$ , sono divisibili per un terzo numero,  $x$ , allora anche la loro differenza è divisibile per  $x$ .**

Per dimostrarla, si può utilizzare la proprietà distributiva.

Supponiamo  $m > n$ .

$$m = kx$$

$$n = hx$$

$$m - n = kx - hx = x(k - h)$$

Dunque si può dire che:  **$\text{MCD}(m, n) = \text{MCD}((m - n), n)$**

### Algoritmo

- **ripeti finché** ( $M \neq N$ ):
  - **se**  $M > N$ , sostituisci a  $M$  il valore  $M - N$
  - **altrimenti** sostituisci a  $N$  il valore  $N - M$
- il massimo comun divisore corrisponde a  $M$  (o a  $N$ )

## Algoritmo (7)

Proprietà essenziali degli algoritmi:

### Correttezza:

- un algoritmo è corretto se esso perviene alla soluzione del compito cui è preposto, senza difettare in alcun passo fondamentale.

### Efficienza:

- un algoritmo è efficiente se perviene alla soluzione del compito cui è preposto nel modo più veloce possibile, compatibilmente con la sua correttezza.

## Programmazione

La formulazione testuale di un algoritmo in un linguaggio comprensibile ad un calcolatore è detta **PROGRAMMA**.

Ricapitolando, per risolvere un problema:

- Individuazione di un procedimento risolutivo
- Scomposizione del procedimento in un insieme ordinato di azioni – **ALGORITMO**
- Rappresentazione dei dati e dell'algoritmo attraverso un formalismo comprensibile al calcolatore: **LINGUAGGIO DI PROGRAMMAZIONE**

87

## Linguaggi di Programmazione (1)

Perché non usare direttamente il linguaggio naturale?

Il **LINGUAGGIO NATURALE** è un insieme di parole e di regole per combinare tali parole che sono usate e comprese da una comunità di persone

- non evita le ambiguità
- non si presta a descrivere processi computazionali automatizzabili

Occorre una nozione di linguaggio più precisa.

Un **LINGUAGGIO** di programmazione è una notazione formale che può essere usata per descrivere algoritmi.

Si può stabilire quali sono gli elementi linguistici primitivi, quali sono le frasi lecite e se una frase appartiene al linguaggio.

88

## Linguaggi di Programmazione (2)

Un linguaggio è caratterizzato da:

**SINTASSI** - insieme di regole formali per la scrittura di programmi, che fissano le modalità per costruire frasi corrette nel linguaggio

**SEMANTICA** - insieme dei significati da attribuire alle frasi (sintatticamente corrette) costruite nel linguaggio

- a parole (poco precisa e ambigua)
- mediante azioni (semantica operativa)
- mediante funzioni matematiche (semantica denotazionale)
- mediante formule logiche (semantica assiomatica)

89

## Definizione di linguaggio

**Alfabeto  $V$**  (lessico)

- insieme dei simboli con cui si costruiscono le frasi

**Universo linguistico  $V^*$**

- insieme di tutte le frasi (sequenze finite) di elementi di  $V$

**Linguaggio  $L$  su alfabeto  $V$**

- un sottoinsieme di  $V^*$

Come definire il sottoinsieme di  $V^*$  che definisce il linguaggio?

Specificando in modo preciso la sintassi delle frasi del linguaggio TRAMITE una **grammatica formale**

90

## Grammatiche

Grammatica  $G = \langle V, VN, P, S \rangle$

|      |                                              |
|------|----------------------------------------------|
| $V$  | insieme finito di simboli terminali          |
| $VN$ | insieme finito di simboli non terminali      |
| $P$  | insieme finito di regole di produzione       |
| $S$  | simbolo non terminale detto simbolo iniziale |

Data una grammatica  $G$ , si dice Linguaggio  $LG$  generato da  $G$  l'insieme delle frasi di  $V$

- Derivabili dal simbolo iniziale  $S$
- Applicando le regole di produzione  $P$

Le frasi di un linguaggio di programmazione vengono dette programmi di tale linguaggio.

91

## Grammatica BNF (1)

GRAMMATICA BNF (Backus-Naur Form) è una grammatica le cui regole di produzione sono della forma

$X ::= A$

$X$  simbolo non terminale

$A$  sequenza di simboli (terminali e non terminali)

Una grammatica BNF definisce quindi un linguaggio sull'alfabeto terminale  $V$  mediante un meccanismo di derivazione (riscrittura)

$A$  deriva da  $X$  se esiste una sequenza di derivazioni da  $X$  ad  $A$

$X ::= A_1$

$A_2$

...

$A_n$

unica regola che indica l'**alternativa** fra  $A_1, \dots, A_n$

92

## Grammatica BNF (2)

$G = \langle V, VN, P, S \rangle$

$V = \{ \text{lupo, canarino, bosco, cielo, mangia, vola, canta, ., il, lo} \}$

$VN = \{ \text{frase, soggetto, verbo, articolo, nome} \}$

$S = \text{frase}$

Produzioni P

**frase** ::= **soggetto verbo .**

**soggetto** ::= **articolo nome**

**articolo** ::= il

lo

**nome** ::= lupo

canarino

bosco

cielo

**verbo** ::= mangia

vola

canta

Esempio: derivazione della frase  
"il lupo mangia."

**frase** -> **soggetto verbo.**

-> **articolo nome verbo.**

-> il **nome verbo.**

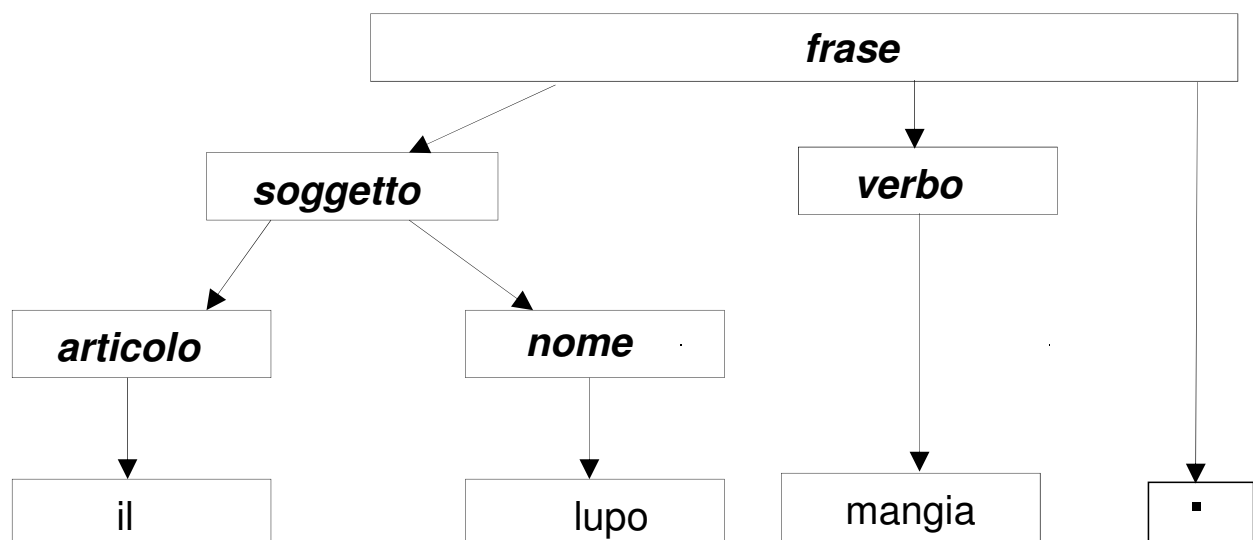
-> il lupo **verbo.**

-> il lupo mangia.

derivazione left-most

93

## Albero sintattico



Albero sintattico: albero che esprime il processo di derivazione di una frase usando una data grammatica

Esistono programmi per generare analizzatori sintattici per linguaggi descritti con BNF

94



## Sintassi e semantica

Scrivere un programma sintatticamente corretto non implica che il programma faccia quello per cui è stato scritto

La frase “il lupo vola” è sintatticamente corretta ma non è semanticamente corretta (non è significativa)

// Somma di due numeri interi inseriti da tastiera

```
int main()
{
    int a, b;
    cout << "immettere due numeri" << endl;
    cin >> a; cin >> b;
    int c = a + a; ←
    cout << "Somma: " << c << endl;
    return 0;
}
```

95

## Approccio compilato

Sviluppo di un programma (approccio compilato):

- editing: scrivere il testo e memorizzarlo su supporti di memoria permanenti
- compilazione
- linking
- esecuzione

Compilatore: traduce il programma sorgente in programma oggetto

- ◆ ANALISI programma sorgente
  - analisi lessicale
  - analisi sintattica
- ◆ TRADUZIONE
  - generazione del codice
  - ottimizzazione del codice

Esempi: C, C++, Pascal...

96

Sviluppo di un programma (approccio interpretato):

- editing: scrivere il testo e memorizzarlo su supporti di memoria permanenti
- interpretazione
  - ◆ ANALISI programma sorgente
    - analisi lessicale
    - analisi sintattica
  - ◆ ESECUZIONE

ESEMPIO: Basic, Java

## 2.1 Linguaggio di Programmazione C++ (I)

- Per definire sintassi e semantica di un linguaggio occorre utilizzare un altro linguaggio, ossia un *metalinguaggio*
- Metalinguaggio per la sintassi C++:
  - insieme di notazioni (non ambigue), che possono essere spiegate con poche parole del linguaggio naturale.
- Metalinguaggio per la semantica C++:
  - risulta assai complesso, per cui si ricorre direttamente al linguaggio naturale.
- Notazione utilizzata per la sintassi C++:
  - derivata dal classico formalismo di Backus e Naur (*BNF*, *Backus-Naur Form*).

## 2.1 Metalinguaggio per il C++ (I)

### NOTAZIONE UTILIZZATA

basata sulla grammatica BNF;  
terminologia inglese;  
rispetto alla sintassi *ufficiale*, regole semplificate,  
caratterizzate dal prefisso *basic*;  
diversa organizzazione delle categorie sintattiche.

### Regole

- una regola descrive una *categoria sintattica*, utilizzando altre categorie sintattiche, costrutti di metalinguaggio, simboli terminali
- le forme alternative possono stare su righe separate, oppure essere elencate dopo il simbolo del metalinguaggio one of.

### Categorie sintattiche:

- scritte in *corsivo*.

### Costrutti di metalinguaggio:

- scritti con sottolineatura.

### Simboli terminali:

- scritti con caratteri normali.

## 2.1 Metalinguaggio per il C++ (II)

- **Esempio**

*frase*

*soggetto verbo .*

*soggetto*

*articolo nome*

*articolo*

one of

il lo

*nome*

one of

lupo canarino bosco cielo scoiattolo

*verbo*

one of

mangia vola canta

- **Fraasi sintatticamente corrette (secondo la semplice sintassi introdotta)**

il canarino vola.

il lupo mangia.

il lupo canta.

il scoiattolo vola.

- **ATTENZIONE:**

Una sintassi corretta non implica una semantica corretta.

## 2.1 Metalinguaggio per il C++ (III)

### Elementi di una categoria sintattica:

- possono essere opzionali:
  - » vengono contrassegnati con il suffisso opt (simbolo di metalinguaggio).
- possono essere ripetuti più volte:
  - » per far questo, vengono introdotte categorie sintattiche aggiuntive.

### Categorie sintattiche aggiuntive

#### 1. Sequenza di un qualunque genere di elementi:

*some-element-seq*

*some-element*

*some-element some-element-seq*

#### 2. Lista di un qualunque genere di elementi (separati da virgola):

*some-element-list*

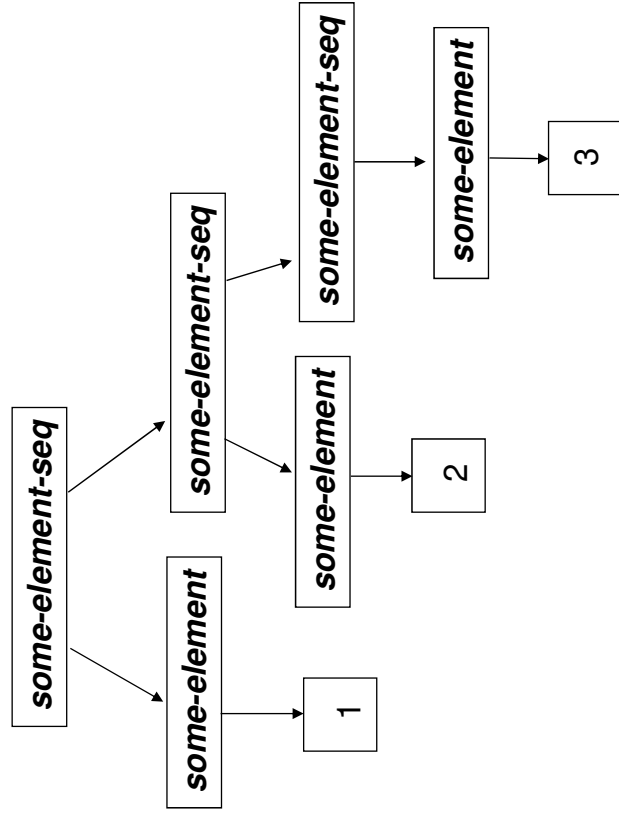
*some-element*

*some-element , some-element-list*

## 2.1 Metalinguaggio per il C++ (IV)

Albero di derivazione per la sequenza:      1 2 3

*some-element*  
one of  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9



## 2.2 Sintassi C++ (I)

- **Programma C++:**
  - costituito da sequenze di *parole (token)*;
  - le *parole* possono essere delimitate da *spazi bianchi (whitespace)*.
- **Parole:**
  - costituite dai seguenti caratteri:
    - token-character*
    - digit*
    - letter*
    - special*
    - digit*
    - one of  
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
    - letter*
    - one of  
\_ a b ... z A B ... Z
    - special*
    - one of  
! % ^ ... /

## 2.2 Sintassi C++ (II)

- Spazi bianchi:
  - carattere *spazio*;
  - caratteri *tabulazione* (orizzontale e verticale);
  - caratteri *nuova riga e ritorno carrello*.
- Commenti:
  - sequenze di parole e spazi bianchi racchiuse fra i caratteri */\** e *\*/*, oppure fra i caratteri *//* e la fine della riga;
  - hanno lo scopo di documentare un programma;
  - possono essere inseriti liberamente nel testo e non hanno alcun effetto sull'esecuzione del programma.
- Spazi bianchi e commenti:
  - costituiscono le *spaziature*.

## 2.2 Sintassi C++ (III)

- Categorie sintattiche elementari (elementi lessicali):
  - opportune sequenze di caratteri (token-character o whitespace);
  - non possono includere spaziature (aggiuntive) fra un carattere e un altro.
- Elementi lessicali:
  - identificatori (*identifier*);
  - parole chiave (*keyword*);
  - espressioni letterali (*literal*);
  - operatori (*operator*);
  - separatori (*separator*).

## 2.2.1 Identificatori

- Entità usate in un programma:
  - devono possedere *nomi*;
  - i nomi possono essere *identificatori*:  
*identifier*  
*letter*  
*letter identifier-char-seq*  
*identifier-char*  
*letter*  
*digit*
- Il carattere di sottolineatura `_` è una lettera.
  - la doppia sottolineatura all'interno degli identificatori è sconsigliata, perché riservata alle implementazioni ed alle librerie.
- Il C++ distingue fra maiuscole e minuscole (è *case sensitive*).
- Esempi:  
`ident`  
`_ident`  
`Ident`

## 2.2.2 Parole Chiave e Espressioni Letterali

- Nota:
  - i termini *nome* e *identificatore* spesso vengono usati intercambiabilmente, ma è necessario distinguerli:
    - » un nome può essere un identificatore, oppure un identificatore con altri simboli aggiuntivi.
- Parole chiave:
  - simboli costituiti da parole inglesi (formate da sequenze di lettere), il cui significato è stabilito dal linguaggio:  
*keyword*  
*one of*  
*and ... while*
- Un identificatore non può essere uguale ad una parola chiave.
- Espressioni letterali:
  - chiamate semplicemente *letterali*;
  - denotano valori costanti (costanti senza nome);
    - » numeri interi (per es. 10);
    - » numeri reali (per es. -12.5);
    - » letterali carattere (per es. 'a');
    - » letterali stringa (per es. "informatica").

## 2.2.4 Operatori e separatori

- **Operatori:**
  - caratteri speciali e loro combinazioni;
  - servono a denotare operazioni nel calcolo delle espressioni;
  - esempi:
    - carattere +
    - carattere -
    - ...
- **Separatori:**
  - simboli di interpunzione, che indicano il termine di una istruzione, separano elementi di liste, raggruppano istruzioni o espressioni, eccetera;
  - esempi:
    - carattere ;
    - coppia di caratteri ( )
    - ...

## 2.2.4 Proprietà degli operatori (I)

- **posizione rispetto ai suoi operandi (o argomenti):**
  - *prefisso*: se precede gli argomenti
    - *op arg*dove *op* e' l'operatore e *arg* e' l'argomento  
Esempio: +5
  - *postfisso*: se segue gli argomenti
    - *arg op*Esempio: x++ (operatore incremento)
  - *infisso*: in tutti gli altri casi;
    - *arg1 op arg2*Esempio: 4 + 5
- **numero di argomenti (o arietà):**  
Esempio:      *op arg* (arietà 1)  
                  *arg1 op arg2* (arietà 2)



## 2.2.4 Proprietà degli operatori (II)

- precedenza (o priorità) nell'ordine di esecuzione:
  - gli operatori con priorità più alta vengono eseguiti per primi;

Esempio:

$arg1 + arg2 * arg3$

(operatore prodotto priorità maggiore dell'operatore somma)

- associatività (ordine in cui vengono eseguiti operatori della stessa priorità):

- operatori associativi a sinistra: vengono eseguiti da sinistra a destra;

Esempio:  $arg1 + arg2 + arg3$



$(arg1 + arg2) + arg3$

- operatori associativi a destra: vengono eseguiti da destra a sinistra.

Esempio:  $arg1 = arg2 = arg3$



$arg1 = (arg2 = arg3)$

## 3. Un semplice programma

### Il più semplice programma C++

```
int main()
{ }
```

### Un passo avanti

```
#include <cstdlib> // direttive per il preprocessore

using namespace std;
/*direttiva che indica al compilatore che tutti i nomi
usati nel programma si riferiscono allo standard
ANSI-C++ */

int main() // dichiarazione della funzione main
{
    system("PAUSE");
    /* consente di bloccare l'esecuzione in attesa che
    l'utente digiti un tasto */

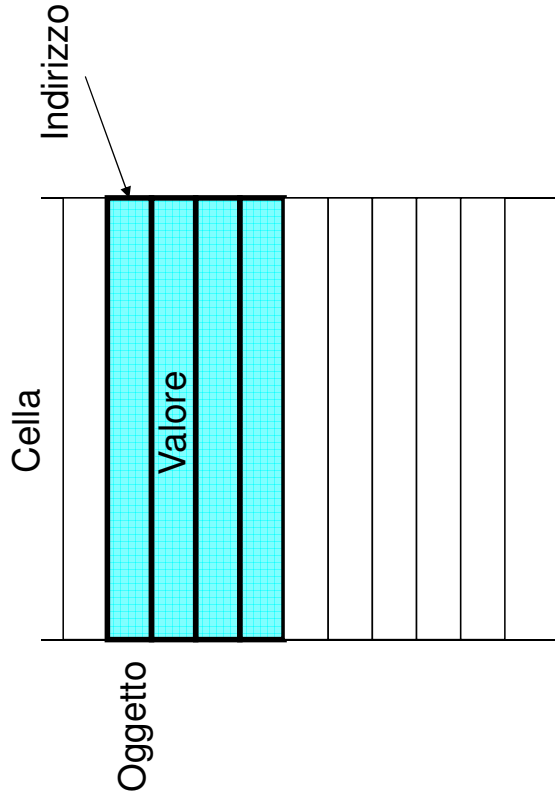
    return 0;
    // restituisce 0 ovvero tutto OK!!!!
}
```

Premere un tasto per continuare . . .

### 3.1 Oggetti (I)

**Memoria:** insieme di celle.

**Cella:** in genere dimensione di un byte (8 bit)



**Oggetto:** gruppo di celle consecutive che vengono considerate dal programmatore come un'unica cella informativa.

**Attributi** di un oggetto:

**Indirizzo** della prima cella

**Valore** (contenuto di tutte le celle)

### 3.1 Oggetti (II)

- **Oggetti costanti** (costanti con nome) e oggetti variabili:
  - l'indirizzo comunque non cambia;
  - il valore non può o può subire modifiche, rispettivamente.
- **Programmatore:**
  - si riferisce a un oggetto mediante un nome (caso particolare di nome: identificatore).
- **Oggetto:**
  - ha un tipo.
- **Tipo di un oggetto:**
  - insieme di valori (detti elementi o costanti del tipo);
  - insieme di operazioni definite sugli elementi (con risultato appartenente allo stesso tipo o ad un altro tipo).
- **Associare un tipo a un oggetto:**
  - permette di rilevare in maniera automatica valori che non siano compresi nell'insieme di definizione e operazioni non consentite.

## 3.2 Dichiarazioni e Definizioni

- **Costrutti che introducono nuove entità:**
  - dichiarazioni;
  - definizioni.
- **Dichiarazioni:**
  - entità a cui il compilatore non associa locazioni di memoria o azioni eseguibili;
  - esempio: dichiarazioni di tipo.
- **Definizioni:**
  - entità a cui il compilatore associa locazioni di memoria o azioni eseguibili;
  - esempio: definizioni di variabili o di costanti (con nome).
- **Nomenclatura consentita in C++:**
  - spesso non è semplice né conveniente trattare separatamente dichiarazioni e definizioni;
  - con *dichiarazione* si può intendere sia una *dichiarazione* vera e propria sia una *definizione* (le dichiarazioni comprendono le definizioni).

## 3.2 Tipi del C++

### Tipi: Tipi fondamentali Tipi derivati

- **Tipi fondamentali:**
  - tipi predefiniti;
  - tipi enumerazione.
- Tipi predefiniti:**
  - tipo intero (int) e tipo naturale (unsigned);
  - tipo reale (double);
  - tipo booleano (bool);
  - tipo carattere (char).
- I tipi fondamentali sono chiamati anche *tipi aritmetici*.
- Il tipo intero e il tipo reale sono detti tipi *numerici*.
- Il tipo intero, il tipo booleano, il tipo carattere ed i tipi enumerati sono detti *tipi discreti*.
- **Tipi derivati:**
  - si ottengono a partire dai tipi predefiniti;
  - permettono di costruire strutture dati più complesse.

### 3.3 Tipo intero (I)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i;
    int i1 = 7;
    int i2(7);
    int i3 = 0, i4, i5 = 6;
    i1 = -7;
    i2 = i1 + 3;
    i2 = i1 - 1;
    i2 = i1 * 2;
    i4 = 1 / 2;
    i5 = 1 % 2;
    i3 = 1 / 2 * 2 + 1 % 2;
    cout << i3 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

1  
Premere un tasto per continuare . . .

### 3.3 Tipo intero (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    // tipo short int
    short int s1 = 1;      // letterale int
    short s2 = 2;

    // tipo long int
    long int ln1 = 6543;   // letterale int
    long ln2 = 6543L;     // letterale long int (suffisso L)
    long ln3 = 6543l;     // letterale long int (suffisso l)

    // letterale int ottale, prefisso 0 (zero)
    int ott = 011;        // ott = 9 (letterale intero ottale)

    // letterale int esadecimale, prefisso 0x o 0X
    int esad1 = 0xF;       // esad1 = 15
    int esad2 = 0XF;       // esad2 = 15

    cout << ott << endl << esad1 << endl;
    cout << esad2 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

9  
15  
15  
Premere un tasto per continuare . . .

### 3.3 Tipo intero (III)

#### Definizione di un intero con il formalismo di Backus e Naur

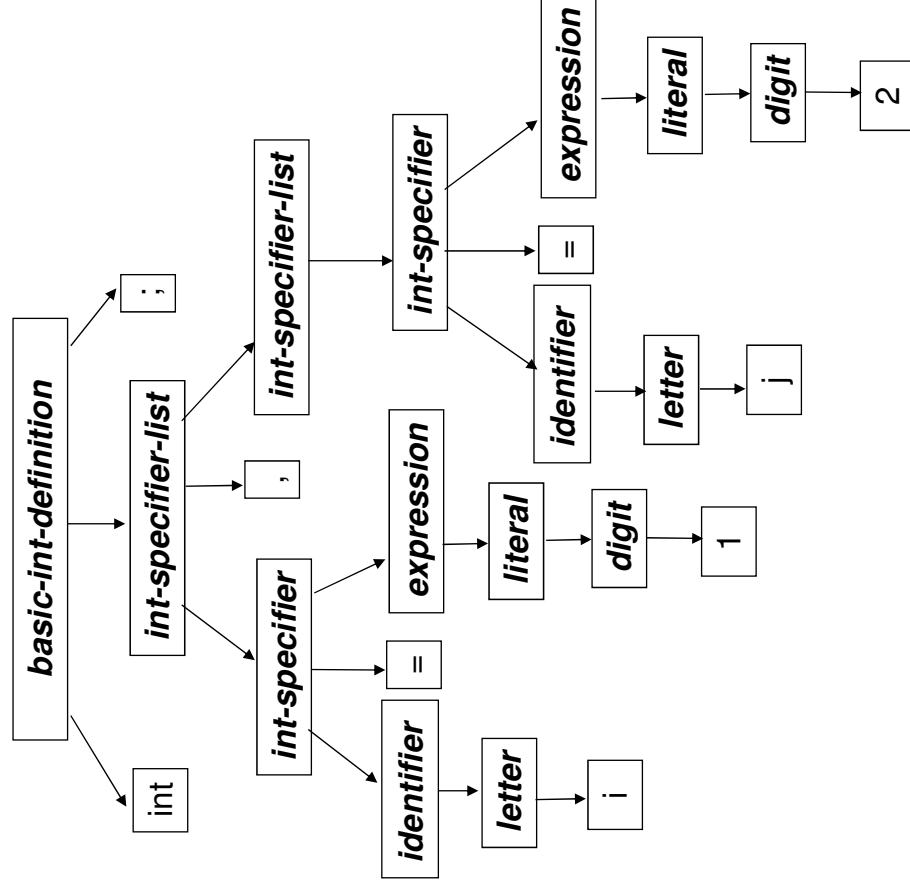
*basic-int-definition*  
`int int-specifier-list ;`  
*int-specifier-list*  
`int-specifier`  
`int-specifier, int-specifier-list`  
*int-specifier*  
`identifier int-initializer[opt]`  
*int-initializer*  
`= expression`  
`( expression )`

#### Osservazioni:

- se N è il numero di bit impiegati per rappresentare gli interi, i valori vanno da  $-2^{**}(N-1)$  a  $2^{**}(N-1)-1$ ;
- valore tipico di N: 32.

### 3.3 Tipo Intero (IV)

Albero di derivazione per la definizione: `int i = 1, j = 2;`



### 3.3.1 Tipo unsigned (I)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    // tipo unsigned int
    unsigned int u1 = 1U;           // letterale unsigned, suffisso U
    unsigned u2 = 2u;              // letterale unsigned, suffisso u

    // tipo unsigned short int
    unsigned short int u3 = 3;
    unsigned short u4 = 4;

    // tipo unsigned long int
    unsigned long int u5 = 5555;
    unsigned long u6 = 6666UL;
    unsigned long u7 = 7777LU;
    // letterale unsigned long, suffisso UL (ul)

    unsigned short int u8 = -0X0001; // Warning

    cout << u1 << '\t' << u2 << endl;
    cout << u3 << '\t' << u4 << endl;
    cout << u5 << '\t' << u6 << '\t' << u7 << endl;
    cout << u8 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
1 2
3 4
5555 6666 7777
65535
Premere un tasto per continuare ...
```

120

### 3.3.1 Tipo unsigned (II)

#### Osservazioni:

- se N è il numero di bit impiegati per rappresentare gli interi, i valori vanno da 0 a  $2^{N-1}$ ;
- Il tipo unsigned è utilizzato principalmente per operazioni a basso livello:
  - il contenuto di alcune celle di memoria non è visto come un valore numerico, ma come una configurazione di bit.

#### Operatori bit a bit:

- | OR bit a bit
- & AND bit a bit
- ^ OR esclusivo bit a bit
- ~ complemento bit a bit
- << traslazione a sinistra
- >> traslazione a destra

121

3.3.1 Tipo unsigned (III)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned short a = 0xFFFF9;
                        // 1111 1111 1111 1001 (65529)
    unsigned short b = ~a;
                        // 0000 0000 0000 0110 (6)
    unsigned short c = 0x0013;
                        // 0000 0000 0001 0011 (19)

    unsigned short c1, c2, c3;
    c1 = b | c;         // 0000 0000 0001 0111 (23)
    c2 = b & c;         // 0000 0000 0000 0010 (2)
    c3 = b ^ c;         // 0000 0000 0001 0101 (21)

    unsigned short b1, b2;
    b1 = b << 2;        // 0000 0000 0001 1000 (24)
    b2 = b >> 1;        // 0000 0000 0000 0011 (3)

    cout << a << '\t' << b << '\t' << c << endl;
    cout << c1 << '\t' << c2 << '\t' << c3 << endl;
    cout << b1 << '\t' << b2 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 65529 | 6 | 19 |
| 23    | 2 | 21 |
| 24    | 3 |    |

Premere un tasto per continuare . . . . .

3.3.1 Tipo unsigned (II)

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| a | b |   | & | ^ | ~ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

### 3.4 Tipo reale (I)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
{
    // tipo double
    double d1 = 3.3;
    double d2 = -12.14e-3, d3 = 1.51;

    // tipo float
    float f = -2.2;
    float g = f - 12.12F;
    // letterale float, suffisso F (f)

    long double h = +0.1;
    long double k = 1.23e+12L;
    // letterale long double, suffisso L (l)

    cout << d1 << '\t' << d2 << '\t' << d3 << endl;
    cout << f << '\t' << g << endl;
    cout << h << '\t' << k << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
3.3  -0.01214  1.51
-2.2 -14.32
0.1  1.23e+012
Premere un tasto per continuare . . .
```

124

### 3.4 Tipo reale (II)

#### Letterale reale (forma estesa):

Parte Intera    Parte Frazionaria

10.56E-3

Componente in virgola fissa

- la parte intera o la parte frazionaria, se valgono zero, possono essere omesse.

Le operazioni sugli interi e sui reali si indicano con gli stessi simboli (*sovrapposizione o overloading*), ma sono operazioni diverse.

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i = 1, j = 2;
    int z = i / j;
    float f1 = 1.0 / 2.0;
    float f2 = 1 / 2;
    float f3 = (float)i / j;
    cout << z << '\t' << f1 << '\t' << f2 << '\t' << f3 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
0  0.5  0  0.5
```

Premere un tasto per continuare . . .

125



### 3.5 Tipo bool (I)

**Tipo *bool*:**  
valori: costanti predefinite *false* e *true* (codificati con gli interi 0 e 1, rispettivamente).

**Operazioni:**  
|| OR logico o disgiunzione  
&& AND logico o congiunzione  
! NOT logico o negazione

| p     | q     | p    q | p && q | !p    |
|-------|-------|--------|--------|-------|
| false | false | false  | false  | true  |
| false | true  | true   | false  | true  |
| true  | false | true   | false  | false |
| true  | true  | true   | true   | false |

### 3.5 Tipo bool (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    bool b1 = true, b2 = false;           // b3 = false
    bool b3 = b1 && b2;                    // b4 = true
    bool b4 = b1 || b2;

    bool b5 = b1 || b2 && false;
    // b5 = true (AND precedenza maggiore di OR)

    bool b6 = !b2 || b2 && false;
    // b6 = true (NOT prec. maggiore di AND e OR)

    cout << b3 << '\t' << b4 << '\t' << b5;
    cout << '\t' << b6 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

0 1 1 1 1  
Premere un tasto per continuare . . .

## 3.5 Operatori di confronto e logici (I)

I tipi aritmetici possono utilizzare gli operatori di confronto:

- == uguale
- != diverso
- > maggiore
- >= maggiore o uguale
- < minore
- <= minore o uguale

Operatori di confronto:

- il risultato è un booleano, che vale *false* se la condizione espressa dall'operatore non è verificata, *true* altrimenti;
- gli operatori di confronto si dividono in:
  - *operatori di uguaglianza* (== e != );
  - *operatori di relazione*;
- i primi hanno una precedenza più bassa degli altri.

## 3.5 Operatori di confronto e logici (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    bool b1, b2, b3, b4, b5;
    int i = 10;
    float f = 8.0;

    b1 = i > 3 && f < 5.0;    // false
    b2 = i == f < 5.0;       // false
    b3 = i == i;             // true
    b4 = 4 < i < 7;          // true ???
    b5 = 4 < i && i < 7;      // false

    cout << b1 << '\t' << b2 << '\t' << b3 << endl;
    cout << b4 << '\t' << b5 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
0 0 1
1 1 0
```

Premere un tasto per continuare . . .

## 3.6 Tipo carattere (I)

- insieme di valori: caratteri opportunamente codificati (generalmente un carattere occupa un byte).
- operazioni sui caratteri: sono possibili tutte le operazioni definite sugli interi, che agiscono sulle loro codifiche.

### Codifica usata:

- dipende dall'implementazione;
- la più comune è quella ASCII.

### Letterale carattere:

- carattere racchiuso fra apici;
- esempio:
  - *Il letterale 'a' rappresenta il carattere a.*

### Caratteri di controllo:

- rappresentati da combinazioni speciali che iniziano con una barra invertita (sequenze di *escape*).

### Alcuni esempi:

- nuova riga (LF)      \n
- tabulazione orizzontale      \t
- ritorno carrello (CR)      \r
- barra invertita      //
- apice      \'
- virgolette      \"

## 3.6 Tipo carattere (II)

### Ordinamento:

- tutte le codifiche rispettano l'ordine alfabetico fra le lettere, e l'ordine numerico fra le cifre;
- la relazione fra lettere maiuscole e lettere minuscole, o fra caratteri non alfabetici, non è prestabilita (per esempio, in ASCII si ha 'A' < 'a').

### Carattere:

- può essere scritto usando il suo valore nella codifica adottata dall'implementazione (per esempio ASCII). Il valore può essere espresso in decimale, ottale ed esadecimale.

### Valori ottali:

- formati da cifre ottali precedute da una barra invertita.

### Valori esadecimali:

- formati da cifre esadecimali precedute da una barra invertita e dal carattere x (non X).

### Nota:

- le sequenze di escape e le rappresentazioni ottale e esadecimale di un carattere, quando rappresentano un *letterale carattere*, vanno racchiuse fra apici;
- esempi:
  - '\n'    '\15'

## 3.6 Tipo carattere (III)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>

using namespace std;
int main()
{
    char c1 = 'c', t = 't', d = '\n';           // 'c' (in esadecimale)
    char c2 = '\x63';                           // 'c' (in ottale)
    char c3 = '\143';                           // 'c' (in decimale)
    char c4 = 99;

    cout << c1 << t << c2 << t << c3 << t << c4 << d;

    char c5 = c1 + 1;                           // 'd'
    char c6 = c1 - 2;                           // 'a'
    char c7 = 4 * d + 3;                        // '+' (!!!)
    int i = c1 - 'a';                            // 2

    cout << c5 << t << c6 << t << c7 << t << i << d;

    bool m = 'a' < 'b', n = 'a' > 'c';          // m = true, n = false

    cout << m << '\n' << n << '\n';
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
c  c  c  c
d  a  +  2
1
0
Premere un tasto per continuare ...
```

## 3.7 Tipi enumerazione (I)

Tipi enumerazione (o enumerati):

- costituiti da insiemi di costanti intere, definite dal programmatore, ciascuna individuata da un identificatore e detta *enumeratore*;
- utilizzati per variabili che assumono solo un numero limitato di valori;
- servono a rappresentare informazioni non numeriche;
- non sono predefiniti, ma definiti dal programmatore.

Nota:

- è possibile effettuare separatamente la dichiarazione di un tipo enumerazione e la definizione di variabili di quel tipo.

Operazioni:

- tipicamente, quelle di confronto;
- sono possibili tutte le operazioni definite sugli interi, che agiscono sulla codifica degli enumeratori.

### 3.7 Tipi enumerazione (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    enum Giorni {LUN,MAR,MER,GIO,VEN,SAB,DOM};
    Giorni oggi = MAR;
    oggi = MER;

    int i = oggi;           // 2, conversione implicita
    oggi = MER-MAR;        // ERRORE! MER-MAR->intero
    oggi = 3;              // ERRORE! 3 costante intera
    oggi = i;              // ERRORE! i e' un intero

    cout << int(oggi) << endl;    // 2
    cout << oggi << endl;        // 2, conv. implicita

    enum {ROSSO, GIALLO, VERDE} semaforo;
    semaforo = GIALLO;
    cout << semaforo << endl;    // 1

    enum {INIZ1=10, INIZ2, INIZ3=9, INIZ4};
    cout << INIZ1 << '\t' << INIZ2 << '\t';
    cout << INIZ3 << '\t' << INIZ4 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
2
2
1
10 11 9 10
Premere un tasto per continuare ...
```

134

### 3.8.1 Conversioni implicite (I)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i = 10, j;
    float f = 2.5, h;
    double d = 1.2e+1;
    char c = 'd';

    h = f + 1;           // 3.5
    cout << h << '\t';

    j = f + 3.1;         // 5
    cout << j << endl;

    d = i + 1;           // 11
    cout << d << '\t';

    d = f + d;           // 13.5
    cout << d << endl;

    j = c - 'a';         // 3
    cout << j << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
3.5 5
11 13.5
3
Premere un tasto per continuare ...
```

135

### 3.8.1 Conversioni implicite (II)

#### Osservazione:

- nella conversione da *double* a *int* si può avere una perdita di informazione, poiché avviene un troncamento della parte decimale;
- in alcuni casi, nella conversione da *int* a *double* si può verificare una perdita di precisione per arrotondamento, poiché gli interi sono rappresentati in forma esatta ed i reali sono rappresentati in forma approssimata.
- Esempi:
  - il reale 1588.5 convertito nell'intero 1588;
  - l'intero 0X7FFFFFFF0 (2147483632) convertito nel reale 0X80000000 (2147483648)

#### Conversioni più significative per gli operatori binari (aritmetici):

- se un operatore ha entrambi gli operandi interi o reali, ma di lunghezza diversa, quello di lunghezza minore viene convertito al tipo di quello di lunghezza maggiore;
- se un operatore ha un operando intero ed uno reale, il valore dell'operando intero viene convertito nella rappresentazione reale, ed il risultato dell'operazione è un reale.

### 3.8.1 Conversioni implicite (III)

#### Conversioni più significative per l'assegnamento:

- a una variabile di tipo reale può essere assegnato un valore di tipo intero;
- a una variabile di tipo intero può essere assegnato un valore di tipo reale, di tipo booleano, di tipo carattere o di un tipo enumerazione;
- a una variabile di tipo carattere può essere assegnato un valore di tipo intero, di tipo booleano, o di un tipo enumerazione.

#### Nota:

- a una variabile di tipo booleano o di un tipo enumerazione non può essere assegnato un valore che non sia del suo tipo.

#### Conversioni implicite in sequenza:

- esempio: a una variabile di tipo reale può essere assegnato un valore di tipo carattere (conversione da carattere a intero, quindi da intero a reale).

### 3.8.2 Conversioni esplicite

#### Operatore *static\_cast*:

- effettua una conversione di tipo quando esiste la conversione implicita inversa;
- può essere usato per effettuare conversioni di tipo previste dalla conversione implicita.

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    enum Giorni {LUN,MAR,MER,GIO,VEN,SAB,DOM};
    int i; Giorni g1 = MAR, g2, g3;
    i = g1;
    g1 = static_cast<Giorni>(i);           // cast
    g2 = (Giorni) i;                       // notazione funzionale
    g3 = Giorni (i);

    cout << g1 << '\t' << g2 << '\t' << g3 << endl;

    int j = (int) 1.1;                      // cast, 1
    float f = float(2);                     // notazione funzionale
    cout << j << '\t' << f << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
1 1 1
1 2
Premere un tasto per continuare . . .
```

### 3.9 Dichiarazioni di oggetti costanti

#### Oggetto costante:

- si usa la parola *const* nella sua definizione;
- è richiesto sempre un inizializzatore.

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    const long int i = 0;
    const double e1 = 3.5;
    const long double e2 = 2L * e1;

    cout << i << '\t' << e1 << '\t' << e2 << endl;

    // i = 3;           // ERRORE!
    // const int j;     // ERRORE!

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
0 3.5 7
Premere un tasto per continuare . . .
```

### 3.10 Operatore sizeof (I)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "char \t" << sizeof(char) << endl; // 1
    cout << "short \t" << sizeof(short) << endl; // 2
    cout << "int \t" << sizeof(int) << endl; // 4
    cout << "long \t" << sizeof(long) << endl; // 4

    cout << "unsigned char \t";
    cout << sizeof(unsigned char) << endl; // 1
    cout << "unsigned short \t";
    cout << sizeof(unsigned short) << endl; // 2
    cout << "unsigned int \t";
    cout << sizeof(unsigned int) << endl; // 4
    cout << "unsigned long \t";
    cout << sizeof(unsigned long) << endl; // 4

    cout << "float \t" << sizeof(float) << endl; // 4
    cout << "double \t" ;
    cout << sizeof(double) << endl; // 8
    cout << "long double \t";
    cout << sizeof(long double) << endl; // 12

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

### 3.10 Operatore sizeof (II)

```
char 1
short 2
int 4
long 4
unsigned char 1
unsigned short 2
unsigned int 4
unsigned long 4
float 4
double 8
long double 12
Premere un tasto per continuare . . .
```



### 3.10 Operatore sizeof (III)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "costante carattere ";
    cout << sizeof 'c' << endl;
    cout << "costante carattere ";
    cout << sizeof('c') << endl;
    // 1
    // 1

    char c = 0;
    cout << "variabile carattere " << sizeof c << endl; // 1

    // cout << "char " << sizeof char << endl; ERRORE!

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

costante carattere 1  
costante carattere 1  
variabile carattere 1  
Premere un tasto per continuare ...

### 4.1 Struttura di un programma

*basic-main-program*

```
int main () compound-statement
{ statement-seq }
```

*compound-statement*

*statement*

*declaration-statement*

*definition-statement*

*expression-statement*

*structured-statement*

*jump-statement*

*labeled-statement*

Istruzioni di dichiarazione/definizione:

*declaration-statement*

*definition-statement*

hanno la forma vista in precedenza.

Simboli introdotti dal programmatore:

- devono essere dichiarati/definiti prima di essere usati;
- non è necessario che le dichiarazioni/definizioni precedano le altre istruzioni.

## 4.2 Espressioni di assegnamento (I)

### Sintassi:

*expression-statement*  
*expression*opt ;

### Espressione:

- formata da letterali, identificatori, operatori, ecc., e serve a calcolare un valore;
- opzionale, perché in certi casi può essere utile usare una istruzione vuota (che non compie alcuna operazione) indicando il solo carattere ‘.’.

### Espressione comune:

- assegnamento (nuovo valore a una variabile);
- sintassi:  
*basic-assignment-expression*  
*variable-name* = *expression*

### Effetto:

- calcolare il valore dell'espressione a destra dell'operatore di assegnamento ( '=' );
- sostituirlo al valore della variabile.

### Nome a sinistra dell'operatore di assegnamento:

- individua una variabile, ossia un *lvalue* (left value).

### Espressione a destra dell'operatore di assegnamento :

- rappresenta un valore, ossia un *rvalue* (right value).

## 4.2 Espressioni di assegnamento (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i = 0, j = 1, k;

    i = 3;
    cout << i << endl;           // 3
    j = i;
    cout << j << endl;           // 3

    k = j = i = 5;                // associativo a destra
    cout << i << "t" << j << "t" << k << endl;    // 5 5 5

    k = j = 2 * (i = 3);
    cout << i << "t" << j << "t" << k << endl;    // 3 6 6

    // k = j + 1 = 2 * (i = 100);    // ERRORE!

    (j = i) = 10;
    cout << j << endl;           // 10 (restituisce un l-value)

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
3
3
5
3
10
5
5
6
6
```

Premere un tasto per continuare . . .

## 4.2.1 Altri operatori di assegnamento

*basic-recurrence-assignment*  
*variable-name* = *variable-name* ⊕ *expression*

*basic-compound-assignment*  
*variable-name* ⊕ = *expression*

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i = 0, j = 5;

    i += 5;           // i = i + 5
    cout << i << endl; // 5

    i *= j + 1;       // i = i * (j + 1);
    cout << i << endl; // 30

    i -= j - 1;       // associativo a destra;
    cout << i << endl; // 26

    (i += 12) = 2;    // restituisce un l-value
    cout << i << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

5  
30  
26  
2

Premere un tasto per continuare . . .

146

## 4.2.2 Incremento e decremento

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i, j;

    i = 0; j = 0;
    ++i; --j;
    cout << i << '\t' << j << endl;
    // i += 1; j -= 1
    // 1 -1

    i = 0;
    j = ++i;
    cout << i << '\t' << j << endl;
    // i += 1; j = i;
    // 1 1

    i = 0;
    i++;
    cout << i << endl;
    // 1

    i = 0;
    j = i++;
    cout << i << '\t' << j << endl;
    // j = i; i += 1;
    // 1 0

    // j = ++i++;
    // j = (++i)++;
    // j = i++++;
    int k = ++++i;
    cout << i << '\t' << j << '\t' << k << endl;
    // 5 2 5

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

147

### 4.3 Espressioni aritmetiche e logiche (I)

#### Calcolo delle espressioni:

- vengono rispettate le precedenze e le associatività degli operatori che vi compaiono;

#### Precedenza:

- per primi vengono valutati i fattori, calcolando i valori delle funzioni e applicando gli operatori unari (prima incremento e decremento postfissi, poi incremento e decremento prefissi, NOT logico ( ! ), meno unario ( - ) e più unario ( + ));

- poi vengono valutati i termini, applicando gli operatori binari nel seguente ordine:

- quelli moltiplicativi ( \* , / , % );
- quelli additivi ( + , - );
- quelli di relazione ( < , > , ... );
- quelli di uguaglianza ( == , != );
- quelli logici (nell'ordine, && , || );
- quelli di assegnamento ( = , ... );

#### Parentesi tonde (coppia di separatori):

- fanno diventare qualunque espressione un fattore, che viene quindi calcolato per primo.

### 4.3 Espressioni aritmetiche e logiche (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
{
    int i = 2, j;
    j = 3 * i + 1;
    cout << j << endl;      // 7

    j = 3 * (i + 1);
    cout << j << endl;      // 9

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
7
9
Premere un tasto per continuare . . .
```

### 4.3 Espressioni aritmetiche e logiche (III)

#### Associatività:

- gli operatori aritmetici binari sono associativi a sinistra;
- gli operatori unari sono associativi a destra;
- gli operatori di assegnamento sono associativi a destra.

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i = 8, j = 4, z;
    z = i / j / 2;           // 1
    cout << z << endl;

    z = i / j * 2;          // 4
    cout << z << endl;

    z = i / (j * 2);        // 1
    cout << z << endl;

    z = j * 2 / i;          // 1
    cout << z << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

1  
4  
1  
1  
Premere un tasto per continuare . . .

150

### 4.3 Espressioni aritmetiche e logiche (IV)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    bool k;
    int i = 0, j = 5;
    k = i >= 0 && j <= 1;
    cout << k << endl;           // (i >= 0) && (j <= 1)
                                   // 0

    k = i && j || !k;
    cout << k << endl;           // (i && j) || (!k)
                                   // 1

    k = 0 < j < 4;
    cout << k << endl;           // ATTENZIONE!
                                   // 1

    k = 0 < j && j < 4;
    cout << k << endl;           // 0

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

0  
1  
1  
0  
Premere un tasto per continuare . . .

151

### 4.3 Espressioni aritmetiche e logiche (V)

#### Operatori && e ||:

- sono associativi a sinistra;
- il calcolo di un'espressione logica contenente questi operatori termina appena si può decidere se l'espressione è, rispettivamente, falsa o vera.

// Cortocircuito

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    bool k;
    int i = 0;

    k = (i >= 0) || (i++);           // 1 0
    cout << k << '\t' << i << endl;

    k = (i > 0) || (i++);           // 0 1
    cout << k << '\t' << i << endl;

    k = (i >= 0) && (i <= 100);      // 1
    cout << k << endl;

    k = (i != 0) && (10 / i >= 10);   // OK
    cout << k << endl;
    k = (10 / i >= 10) && (i != 0);   // NO!
    cout << k << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

### 4.4 Operatore condizionale (I)

**e1 ? e2 : e3**

**e1 espressione logica**

Se **e1** è vera, il valore restituito dall'operatore condizionale è il valore di **e2**, altrimenti di **e3**.

// Legge due interi e stampa su uscita standard il minore

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i, j, min;
    cout << "Inserisci due numeri interi" << endl;

    cin >> i >> j;
    min = (i < j ? i : j);
    cout << "Il numero minore e': " << min << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

// 2 4

Inserisci due numeri interi

2

4

Il numero minore e': 2

Premere un tasto per continuare . . .

## 4.4 Operatore condizionale (II)

```
// Legge tre interi ed incrementa il minore
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i, j, z, min;
    cout << "Inserisci tre numeri interi" << endl;
    cin >> i >> j >> z;
    // 2 3 4
    min = i < j ? (i < z ? i++ : z++) : (j < z ? j++ : z++);
    cout << "Il numero minore e': " << min << endl;
    cout << i << "t' << j << "t' << z << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci tre numeri interi

2  
3  
4

Il numero minore e': 2

3 3 4

Premere un tasto per continuare ...

## 6. Istruzioni strutturate

### Istruzioni strutturate:

- consentono di specificare azioni complesse.

*structured-statement*

*compound-statement*

*selection-statement*

*iteration-statement*

### Istruzione composta:

- già esaminata nella sintassi di programma;
- consente, per mezzo della coppia di delimitatori { e }, di trasformare una qualunque sequenza di istruzioni in una singola istruzione.
- ovunque la sintassi preveda un'istruzione, si può mettere una sequenza comunque complessa di istruzioni racchiusa tra i due delimitatori.

### Istruzioni condizionali:

*selection-statement*

*if-statement*

*switch-statement*

*if-statement*

if ( *condition* ) *statement*

if ( *condition* ) *statement* else *statement*

### 6.3.1 Istruzione if (I)

```
// Trova il maggiore tra due interi

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a, b, max;
    cin >> a >> b;
    if (a > b)
        max = a;
    else
        max = b;
    cout << max << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
4
6
6
Premere un tasto per continuare ...
```

### 6.3.1 Istruzione if (II)

```
// Incrementa o decrementa

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a, b;
    cin >> a >> b;
    if (a >= b)
    {
        a++;
        b++;
    }
    else
    {
        a--;
        b--;
    }
    cout << a << '\t' << b << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
4
6
3
Premere un tasto per continuare ...
```



### 6.3.1 Istruzione if (III)

```
// Valore assoluto (if senza parte else)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a;
    cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
    cin >> a;
    if (a < 0)
        a = -a;
    cout << "Il valore assoluto e' ";
    cout << a << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci un numero intero  
-4  
Il valore assoluto e' 4  
Premere un tasto per continuare . . .

### 6.3.1 Istruzione if (IV)

```
// Legge un numero, incrementa il numero e
// lo scrive se è diverso da 0
// (if senza espressione relazionale)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i;
    cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
    cin >> i;
    if (i++
        cout << "Numero incrementato " << i << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci un numero intero  
2  
Numero incrementato 3  
Premere un tasto per continuare . . .

Inserisci un numero intero  
0  
Premere un tasto per continuare . . .

**N.B.:** L'espressione nella condizione può restituire un valore aritmetico: se il valore è 0, la condizione è falsa; altrimenti è vera.

### 6.3.1 Istruzione if (V)

```
// If in cascata
// if (a > 0 ) if ( b > 0 ) a++; else b++;

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a, b;
    cout << "Inserisci due numeri interi" << endl;
    cin >> a >> b;
    if (a > 0)
        if (b > 0)
            a++;
        else
            b++;
    cout << a << 't' << b << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci due numeri interi

3

5

4

5

Premere un tasto per continuare ...

**NOTA BENE**

la parte *e/se* si riferisce alla condizione più vicina (nell'esempio, alla condizione `b > 0`);

### 6.3.1 Istruzione if (VI)

```
// Scrittura fuorviante

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a, b;
    cout << "Inserisci due numeri interi" << endl;
    cin >> a >> b;
    if (a > 0)
        if (b > 0)
            a++;
        else
            b++;
    cout << a << 't' << b << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci due numeri interi

5

7

6

7

Premere un tasto per continuare ...

### 6.3.1 Istruzioni if (VII)

```
// Scrive asterischi
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> i;
    if (i == 1)
        cout << '*',
    else
        if (i == 2)
            cout << "***",
        else
            if (i == 3)
                cout << "****",
            else
                cout << '!';
    cout << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Quanti asterischi?

2  
\*\*

Premere un tasto per continuare ...

### 6.3.1 Istruzione if (VIII)

```
// Equazione di secondo grado
#include <cstdlib>
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;
int main()
{
    double a, b, c;
    cout << "Coefficienti? " << endl;
    cin >> a >> b >> c;
    if ((a == 0) && (b == 0))
        cout << "Equazione degenerare" << endl;
    else
        if (a == 0)
        {
            cout << "Equazione di primo grado" << endl;
            cout << "x: " << -c / b << endl;
        }
        else
        {
            double delta = b * b - 4 * a * c;
            if (delta < 0)
                cout << "Soluzioni immaginarie" << endl;
            else
            {
                delta = sqrt(delta);
                cout << "x1: " << (-b + delta) / (2 * a) << endl;
                cout << "x2: " << (-b - delta) / (2 * a) << endl;
            }
        }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

### 6.3.1 Istruzione if (IX)

Coefficienti?

1

6

9

x1: -3

x2: -3

Premere un tasto per continuare ...

### 6.3.2 Istruzioni switch e break (I)

Sintassi:

**switch-statement**

switch ( *condition* ) *switch-body*

**switch-body**

{ *alternative-seq* }

**alternative**

*case-label-seq* *statement-seq*

**case-label**

case *constant-expression* :

default :

Condizione:

- comunemente costituita da un'espressione, che produce un risultato di tipo discreto;

Etichette (*case-label*):

- contengono (oltre alla parola chiave *case*) espressioni costanti il cui valore deve essere del tipo del risultato dell'espressione;
- individuano le varie alternative nel corpo dell'istruzione *switch*;
- i valori delle espressioni costanti devono essere distinti.

Alternativa con etichetta *default*:

- se presente, deve essere unica.

## 6.3.2 Istruzioni switch e break (II)

### Esecuzione dell'istruzione *switch*:

- viene valutata l'espressione;
- viene eseguita l'alternativa con l'etichetta in cui compare il valore calcolato (ogni alternativa può essere individuata da più etichette);
- se nessuna alternativa ha un'etichetta in cui compare il valore calcolato, allora viene eseguita, se esiste, l'alternativa con etichetta *default*;
  - in mancanza di etichetta default l'esecuzione dell'istruzione *switch* termina.

### Alternativa:

- formata da una o più istruzioni (eventualmente vuote o strutturate).

### Terminazione:

- può essere ottenuta con l'istruzione *break* (rientra nella categoria delle istruzioni di salto):  
*break-statement*

*break* ;

### Attenzione:

- Se l'ultima istruzione di un'alternativa non fa terminare l'istruzione *switch*, e se l'alternativa non è l'ultima, viene eseguita l'alternativa successiva.

## 6.3.2 Istruzioni switch e break (III)

// Scrive asterischi (uso istruzione *break*)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> i;
    switch (i)
    {
        case 1:
            cout << "*";
            break;
        case 2:
            cout << "***";
            break;
        case 3:
            cout << "*****";
            break;
        default:
            cout << "!";
    }
    cout << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Quanti asterischi?

2  
\*\*

Premere un tasto per continuare ...

### 6.3.2 Istruzioni switch e break (IV)

```
// Scrive asterischi (in cascata)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> i;
    switch (i)
    {
        case 3:      // in cascata
            cout << "**";
        case 2:      // in cascata
            cout << "**";
        case 1:
            cout << "**";
            break;
        default:
            cout << "!";
    }
    cout << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Quanti asterischi?

2

\*\*

Premere un tasto per continuare . . .

### 6.3.2 Istruzioni switch e break (V)

```
// Creazione menù
// Selezione tramite caratteri
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    cout << "Seleziona un'alternativa" << endl;
    cout << "A - Prima Alternativa" << endl;
    cout << "B - Seconda Alternativa" << endl;
    cout << "C - Terza Alternativa" << endl;
    cout << "Qualsiasi altro tasto per uscire" << endl;
    char c;
    cin >> c;
    switch (c)
    {
        case 'a': case 'A':
            cout << "Prima alternativa" << endl;
            break;
        case 'b': case 'B':
            cout << "Seconda alternativa" << endl;
            break;
        case 'c': case 'C':
            cout << "Terza alternativa" << endl;
            // Manca il caso di default
            // Se non è una delle alternative, non scrive niente
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

### 6.3.2 Istruzioni switch e break (VI)

```
// Creazione menù  
// Selezione tramite caratteri
```

```
Selezione un'alternativa  
A - Prima Alternativa  
B - Seconda Alternativa  
C - Terza Alternativa  
Qualsiasi altro tasto per uscire  
B  
Seconda alternativa  
Premere un tasto per continuare ...
```

170

### 6.3.2 Istruzioni switch e break (VII)

```
// Scrittura di enumerazioni  
  
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    enum {ROSSO, GIALLO, VERDE} colore;  
    char c;  
    cout << "Seleziona un colore " << endl;  
    cout << "R - rosso " << endl;  
    cout << "G - giallo " << endl;  
    cout << "V - verde " << endl;  
    cin >> c;  
    switch (c)  
    {  
        case 'r': case 'R':  
            colore = ROSSO;  
            break;  
        case 'g': case 'G':  
            colore = GIALLO;  
            break;  
        case 'v': case 'V':  
            colore = VERDE;  
    }  
    /* ... */  
}
```

171

## 6.3.2 Istruzioni switch e break (VIII)

// Scrittura di enumerazioni (continua)

```
switch (colore)
{
    case ROSSO:
        cout << "ROSSO";
        break;
    case GIALLO:
        cout << "GIALLO";
        break;
    case VERDE:
        cout << "VERDE";
        break;
}
cout << endl;
system("PAUSE");
return 0;
}
```

Seleziona un colore

R - rosso

G - giallo

V - verde

V

VERDE

Premere un tasto per continuare . . .

## 6.4.1 Istruzione ripetitive

Sintassi:

*iteration-statement*

*while-statement*

*do-statement*

*for-statement*

*while-statement*

*while* ( *condition* ) *statement*

// Scrive n asterischi, con n dato (i)

#include <cstdlib>

#include <iostream>

using namespace std;

int main()

{

int n, i = 0;

cout << "Quanti asterischi? " << endl;

cin >> n;

while (i < n)

{

cout << '\*';

i++;

}

// n conserva il valore iniziale

cout << endl;

system("PAUSE");

return 0;

}

Quanti asterischi?

6

\*\*\*\*\*

Premere un tasto per continuare . . .



### 6.4.1 Istruzione while (I)

```
// Scrive n asterischi, con n dato (ii)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int n;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> n;
    while (n > 0)
    {
        cout << '*';
        n--;
    }
    cout << endl;
    // al termine, n vale 0

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Quanti asterischi?

6

\*\*\*\*\*

Premere un tasto per continuare ...

### 6.4.1 Istruzione while (II)

```
// Scrive n asterischi, con n dato (iii)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int n;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> n;
    while (n-- > 0)
        cout << '*';
    cout << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
// al termine, n vale -1

//~~~~~//
// Scrive n asterischi, con n dato (iv)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int n;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> n;
    while (n-- > 0)
        cout << '*';
    cout << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
// non termina se n < 0
```

### 6.4.1 Istruzione while (III)

```
// Legge, raddoppia e scrive interi non negativi
// Termina al primo negativo

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i;
    cout << "Inserisci un numero intero" << endl;
    cin >> i;
    while (i >= 0)
    {
        cout << 2 * i << endl;
        cout << "Inserisci un numero intero" << endl;
        cin >> i;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
1
2
Inserisci un numero intero
3
6
Inserisci un numero intero
-2
Premere un tasto per continuare ...
```

### 6.4.1 Istruzione while (IV)

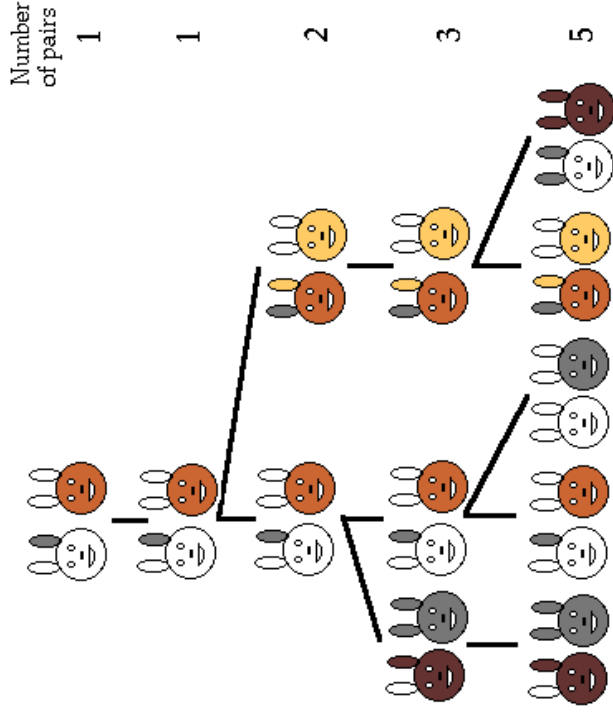
```
// Calcola il massimo m tale che la somma dei primi
// m interi positivi e' minore o uguale ad un dato intero
// positivo n

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned int somma = 0, m = 0, n;
    cout << "Inserisci n " << endl;
    cin >> n;
    while (somma <= n)
        somma += ++m;
    m--;
    cout << m << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci n
8
3
Premere un tasto per continuare ...
```

## 6.4.1 Istruzione while (V)

// Calcola il massimo termine della successione di  
 // Fibonacci minore o uguale al dato intero positivo n  
 // Serie di Fibonacci:  
 Curiosità: da dove nasce la serie di Fibonacci?  
 Supponiamo di avere una coppia di conigli (maschio e  
 femmina). I conigli sono in grado di riprodursi all'età di  
 un mese. Supponiamo che i nostri conigli non muoiano  
 mai e che la femmina produca sempre una nuova  
 coppia (un maschio ed una femmina) ogni mese dal  
 secondo mese in poi. Il problema posto da Fibonacci fu:  
 quante coppie ci saranno dopo un anno?



Il numero delle coppie di conigli all'inizio di ciascun mese sarà 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, ...

## 6.4.1 Istruzione while (V)

```
// Calcola il massimo termine della successione di
// Fibonacci minore o uguale al dato intero positivo n
// Serie di Fibonacci:
//  $a_n = a_{n-1} + a_{n-2}$ 
//  $a_1 = 1$ 
//  $a_0 = 0$ 

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i = 0, j = 1, s, n;           // i = a0, j = a1, s = a2
    cout << "Inserisci n " << endl;
    cin >> n;
    if (n <= 0) cout << "Valore non consistente" << endl;
    else
    {
        while ((s = j + i) <= n)
        {
            i = j;
            j = s;
        }
        cout << j << endl;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci n

7

5

Premere un tasto per continuare . . .

## 6.4.1 Istruzione while (V)

```
// Calcola il massimo termine della successione di
// Fibonacci minore o uguale al dato intero positivo n
// Serie di Fibonacci:
// Soluzione con due variabili
```

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i = 0, j = 1, n;           // i = a0, j = a1
    cout << "Inserisci n " << endl;
    cin >> n;
    if (n <= 0) cout << "Valore non consistente" << endl;
    else
    {
        while (((i = j+i) <= n) && ((j = j+i) <= n));
        if (j < i) cout << j << endl;
        else cout << i << endl;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci n
7
5
Premere un tasto per continuare ...
```

## 6.4.2 Istruzione do (I)

### *do-statement*

```
do statement while ( expression ) ;
```

### Esecuzione dell'istruzione do:

- viene eseguita l'istruzione racchiusa tra *do* e *while* (corpo del *do*);
- viene valutata l'espressione;
- se questa risulta vera l'istruzione *do* viene ripetuta;
- se questa risulta falsa l'istruzione *do* termina.

### Nota:

- il corpo dell'istruzione *do* viene eseguito almeno una volta, prima della valutazione della condizione di terminazione.

## 6.4.2 Istruzione do (II)

```
// Calcola il massimo termine della successione di
// Fibonacci minore o uguale al dato intero positivo n

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i, j = 0, s = 1, n;
    cout << "Inserisci n " << endl;
    cin >> n;
    if (n <= 0) cout << "Valore non consistente" << endl;
    else
    {
        do
        {
            i = j;
            j = s;
        } while ((s = j + i) <= n);
        cout << j << endl;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci n
7
5
Premere un tasto per continuare ...
```

## 6.4.3 Istruzione for (I)

**for-statement**  
for ( *initialization condition-specification step* )  
    *statement*

**initialization**  
*expression-statement*  
*definition-statement*

**condition-specification**  
*expression|opt* ;

**step**  
*expression|opt*

Istruzione *for*:

- viene eseguita come se fosse scritta nel seguente modo:

```
{ inizializzazione
while ( espressione condizionale )
{ // corpo del for
    istruzione
    passo ;
}
}
```

### 6.4.3 Istruzione for (II)

```
// Scrive n asterischi, con n dato (i)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int n;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> n;
    for (int i = 0; i < n; i++)
        cout << '*';
    cout << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Quanti asterischi?

6

\*\*\*\*\*

Premere un tasto per continuare . . .

### 6.4.3 Istruzione for (III)

```
// Scrive n asterischi, con n dato (ii)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int n;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> n;
    for (; n > 0; n--)
        cout << '*';
    cout << endl;

    // al termine, n vale 0

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Quanti asterischi?

6

\*\*\*\*\*

Premere un tasto per continuare . . .

### 6.4.3 Istruzione for (IV)

// Scrive asterischi e punti esclamativi (I)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int n;
    cout << "Quanti? " << endl;
    cin >> n;
    for (int i = 0; i < n; i++)
        cout << '*';
    cout << endl;

    for (int i = 0; i < n; i++) // visibilit  i limitata
        cout << '!';        // blocco for
    cout << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Quanti?
6
*****
!!!!!!
Premere un tasto per continuare ...
```

### 6.4.3 Istruzione for (V)

// Scrive asterischi e punti esclamativi (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int n,i;
    cout << "Quanti? " << endl;
    cin >> n;
    for (i = 0; i < n; i++)
        cout << '*';
    cout << endl;

    for (i = 0; i < n; i++)
        cout << '!';
    cout << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Quanti?
6
*****
!!!!!!
Premere un tasto per continuare ...
```

### 6.4.3 Istruzione for (VI)

// Scrive una matrice di asterischi formata da r righe  
// e c colonne, con r e c dati

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int r, c;
    cout << "Numero di righe? " << endl;
    cin >> r;
    cout << "Numero di colonne? " << endl;
    cin >> c;
    for (int i = 0; i < r; i++)
    {
        for (int j = 0; j < c; j++)
            cout << "x";
        cout << endl;
    }

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

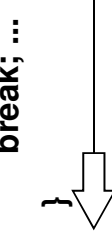
```
Numero di righe?
3
Numero di colonne?
4
****
****
****
Premere un tasto per continuare ...
```

### 6.5 Istruzioni di salto

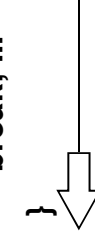
*jump-statement*  
*break-statement*  
*continue-statement*  
*goto-statement*  
*return-statement*

- Istruzione *break* (già vista):
  - salto all'istruzione immediatamente successiva al corpo del ciclo o dell'istruzione *switch* che contengono l'istruzione *break*:

```
while ( ... )
{
    ...
    break; ...
}
```



```
switch ( .... )
{
    ....
    break; ...
}
```





### 6.5.1 Istruzione break (I)

```
// Legge e scrive interi non negativi
// Termina al primo negativo

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int j;           // ciclo infinito; altra forma: while (1)
    for (;;)
    {
        cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
        cin >> j;
        if (j < 0)
            break;
        cout << j << endl;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
3
3
Inserisci un numero intero
5
5
Inserisci un numero intero
-1
Premere un tasto per continuare ...
```

### 6.5.1 Istruzione break (II)

```
// Legge e scrive al piu` cinque interi non negativi
// Termina al primo negativo

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    const int N = 5;
    for (int i = 0, j; i < N; i++)
    {
        cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
        cin >> j;
        if (j < 0)
            break;
        cout << j << endl;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

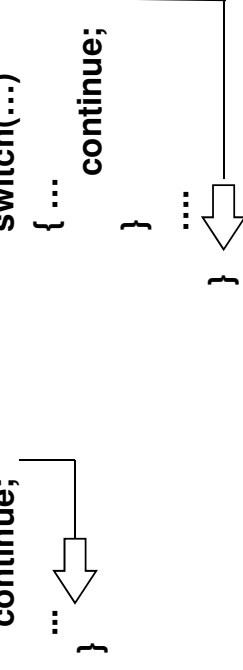
```
Inserisci un numero intero
3
3
Inserisci un numero intero
5
5
Inserisci un numero intero
-1
Premere un tasto per continuare ...
```

## 6.5.2 Istruzione continue (I)

### *continue-statement*

- `continue ;`
- provoca la terminazione di un'iterazione del ciclo che la contiene;
- salta alla parte del ciclo che valuta di nuovo la condizione di controllo:

```
while ( ... )           while (....)
{ ...                   { ...
  continue;              switch(...)
  ...                    { ...
}                        continue;
}                        }
```



### Nota:

- le istruzioni `break` e `continue` si comportano in modo diverso rispetto al tipo di istruzione strutturata in cui agiscono;
- l'istruzione `continue` “ignora” la presenza di un eventuale istruzione `switch`.

### Istruzione `switch`:

- quando è l'ultima di un ciclo, nelle alternative si può usare l'istruzione `continue` invece che l'istruzione `break`.

## 6.5.2 Istruzione continue (II)

// Legge cinque interi e scrive i soli non negativi

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    const int N = 5;
    for (int i = 0, j; i < N; i++)
    {
        cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
        cin >> j;
        if (j < 0) continue;
        cout << j << endl;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci un numero intero

1

1

Inserisci un numero intero

2

2

Inserisci un numero intero

-2

Inserisci un numero intero

-3

Inserisci un numero intero

4

4

Premere un tasto per continuare ...

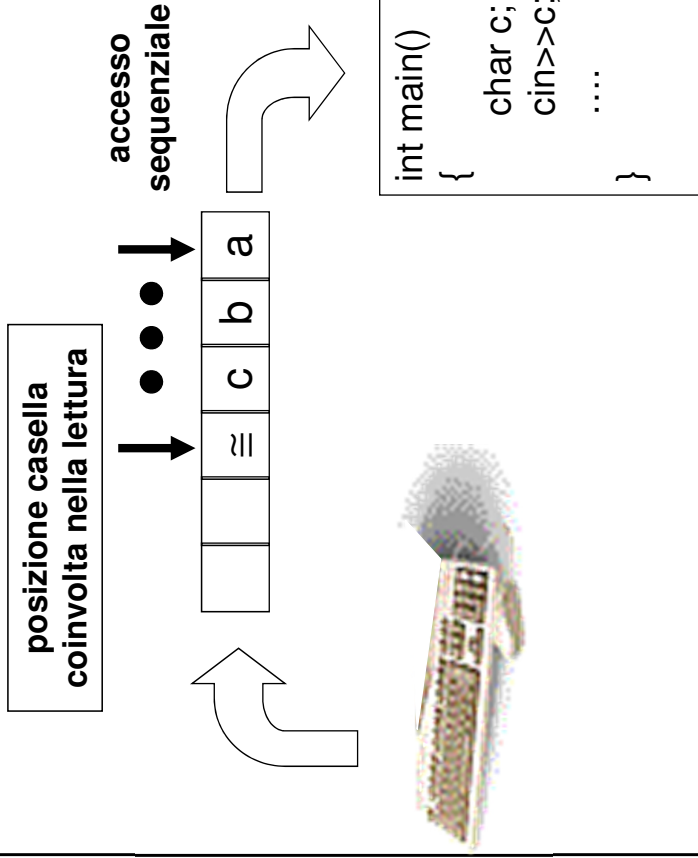
## 5.1 Concetto di stream (I)

### Programma:

- comunica con l'esterno tramite uno o più *flussi* (stream);

### Stream:

- struttura logica costituita da una sequenza di caselle (o celle), ciascuna di un byte, che termina con una marca di fine stream (il numero delle caselle è illimitato);



## 5.2 Concetto di stream (II)

Gli stream predefiniti sono tre:

- *cin*, *cout* e *cerr*;

Funzioni che operano su questi stream:

- si trovano in una libreria di ingresso/uscita, e per il loro uso occorre includere il file di intestazione `<iostream>`.

Osservazione:

- quanto verrà detto per lo stream *cout* vale anche per lo stream *cerr*.

Stream di ingresso standard (*cin*):

- per prelevarvi dati, si usa l'istruzione di lettura (o di ingresso):

*basic-input-expression-statement*  
*input-stream >> variable-name ;*

Azioni:

- prelievo dallo stream di una sequenza di caratteri, consistente con la sintassi delle costanti associate al tipo della variabile (tipo intero: eventuale segno e sequenza di cifre, e così via);
- la conversione di tale sequenza in un valore che viene assegnato alla variabile.

## 5.2 Operatore di Lettura

Operatore di lettura definito per:

- singoli caratteri;
- numeri interi;
- numeri reali;
- sequenze di caratteri (costanti stringa).

Esecuzione del programma:

- quando viene incontrata un'istruzione di lettura, il programma si arresta in attesa di dati;
- i caratteri che vengono battuti sulla tastiera vanno a riempire lo stream *cin*;
- per consentire eventuali correzioni, i caratteri battuti compaiono anche in eco sul video;
- tali caratteri vanno effettivamente a far parte di *cin* solo quando viene battuto il tasto di ritorno carrello.

Ridirezione:

- col comando di esecuzione del programma, lo stream *cin* può essere ridiretto su un file *file.in* residente su memoria di massa;
- comando DOS/Windows (*leggi.exe* è un file eseguibile):  
    *leggi.exe < file.in*

## 5.2 Lettura di Caratteri (I)

```
char c;  
cin >> c;
```

Azione:

- se il carattere contenuto nella casella selezionata dal puntatore non è uno spazio bianco:
  - viene prelevato;
  - viene assegnato alla variabile *c*;
  - il puntatore si sposta sulla casella successiva;
- se il carattere contenuto nella casella selezionata dal puntatore è uno spazio bianco:
  - viene ignorato;
  - il puntatore si sposta sulla casella successiva, e così via, finché non viene letto un carattere che non sia uno spazio bianco.

Letture di un carattere qualsivoglia (anche di uno spazio bianco):

```
char c;  
cin.get(c);
```

Nota:

- una funzione (come *get()*), applicata ad uno specifico stream (come *cin*), si dice funzione membro.

## 5.2 Lettura di Caratteri (II)

```
// Legge caratteri e li stampa su video
// Termina al primo carattere 'q'.

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char c;
    while (true)    // while(1)
    {
        cout << "Inserisci un carattere " << endl;
        cin >> c;
        if (c != 'q')
            cout << c << endl;
        else
            break;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci un carattere
a wq
a
Inserisci un carattere
w
Inserisci un carattere
Premere un tasto per continuare ...
```

## 5.2 Lettura di Caratteri (III)

```
// Legge caratteri e li stampa su video
// Termina al primo carattere 'q'.

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char c;
    while (true)
    {
        cout << "Inserisci un carattere " << endl;
        cin.get(c);
        if (c != 'q')
            cout << c << endl;
        else
            break;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci un carattere
a wq
a
Inserisci un carattere
Inserisci un carattere
Inserisci un carattere
w
Inserisci un carattere
Premere un tasto per continuare ...
```

## 5.2 Lettura di Interi

```
int i;  
cin >> i;
```

### Azione:

- il puntatore si sposta da una casella alla successiva fintanto che trova caratteri consistenti con la sintassi delle costanti intere, saltando eventuali spazi bianchi in testa, e si ferma sul primo carattere non previsto dalla sintassi stessa;
- il numero intero corrispondente alla sequenza di caratteri letti viene assegnato alla variabile *i*.

```
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{
```

```
    int i, j;  
    cout << "Inserisci due numeri interi " << endl;  
    cin >> i;  
    cin >> j;  
    cout << i << endl << j << endl;  
    system("PAUSE");  
    return 0;  
}
```

```
Inserisci due numeri interi  
-10  3  
-10  
3  
Premere un tasto per continuare . . .
```

## 5.2 Lettura di Reali

```
float f;  
cin >> f;
```

### Azione:

- il puntatore si sposta da una casella alla successiva fintanto che trova caratteri consistenti con la sintassi delle costanti reali, saltando eventuali spazi bianchi in testa, e si ferma sul primo carattere non previsto dalla sintassi stessa;
- il numero reale corrispondente alla sequenza di caratteri letti viene assegnato alla variabile *f*.

```
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{
```

```
    float f, g;  
    cout << "Inserisci due numeri reali " << endl;  
    cin >> f;  
    cin >> g;  
    cout << f << endl << g << endl;  
    system("PAUSE");  
    return 0;  
}
```

```
Inserisci due numeri reali  
-1.25e-3  .1e4  
-0.00125  
1000  
Premere un tasto per continuare . . .
```

## 5.2 Letture Multiple

### Istruzione di ingresso:

- rientra nella categoria delle istruzione espressione;
- l'espressione produce come risultato lo stream coinvolto;
- consente di effettuare più letture in sequenza.

```
cin >> x >> y;  
equivalente a:
```

```
cin >> x;    cin >> y;
```

Infatti, essendo l'operatore >> associativo a sinistra, prima viene calcolata la subespressione `cin >> x`, che produce come risultato `cin`, quindi la subespressione `cin >> y`.

```
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    float f, g;  
    cout << "Inserisci due numeri reali " << endl;  
    cin >> f >> g;  
    cout << f << endl << g << endl;  
    system("PAUSE");  
    return 0;  
}
```

```
Inserisci due numeri reali  
-1.25e-3      .1e4  
-0.00125  
1000  
Premere un tasto per continuare . . .
```

## 5.3 Errori sullo stream di ingresso (I)

### Istruzione di lettura:

- il puntatore non individua una sequenza di caratteri consistente con la sintassi delle costanti associate al tipo della variabile:
  - l'operazione di prelievo non ha luogo e lo stream si porta in uno *stato di errore*;

### Caso tipico:

- si vuole leggere un numero intero, e il puntatore individua un carattere che non sia il segno o una cifra;
- caso particolare:
  - si tenta di leggere la marca di fine stream.

### Stream di ingresso in stato di errore:

- occorre un ripristino, che si ottiene con la funzione `cin.clear()`.

### Stream di ingresso:

- può costituire una *condizione* (nelle istruzioni condizionali o ripetitive);
- la condizione è vera se lo stream non è in uno stato di errore, falsa altrimenti.

### Tastiera del terminale:

- se un programma legge dati da terminale fino ad incontrare la marca di fine stream, l'utente deve poter introdurre tale marca;
- questo si ottiene premendo Control e Z nei sistemi DOS/Windows (Ctrl-Z).

### 5.3 Errori sullo stream di ingresso (II)

```
// Legge e stampa numeri interi.  
// Termina quando viene inserito un carattere non  
// consistente con la sintassi delle costanti intere  
// Versione 1  
  
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    int i;  
    while (true)  
    {  
        cout << "Inserisci un numero intero " << endl;  
        cin >> i;  
        if (cin  
            cout << "Numero intero: " << i << endl;  
            else  
                break;  
        }  
        system("PAUSE");  
        return 0;  
    }  
}
```

```
Inserisci un numero intero  
3  
Numero intero: 3  
Inserisci un numero intero  
x  
Premere un tasto per continuare ...
```

### 5.3 Errori sullo stream di ingresso (III)

```
// Legge e stampa numeri interi.  
// Termina quando viene inserito un carattere non  
// consistente con la sintassi delle costanti intere  
// Versione 2  
  
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    int i;  
    while (cin)  
    {  
        cout << "Inserisci un numero intero " << endl;  
        cin >> i;  
        if (cin  
            cout << "Numero intero: " << i << endl;  
            }  
        system("PAUSE");  
        return 0;  
    }  
}
```

```
Inserisci un numero intero  
3  
Numero intero: 3  
Inserisci un numero intero  
x  
Premere un tasto per continuare ...
```



### 5.3 Errori sullo stream di ingresso (IV)

```
// Legge e stampa numeri interi.  
// Termina quando viene inserito un carattere non  
// consistente con la sintassi delle costanti intere  
// Versione 3  
  
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    int i;  
    cout << "Inserisci un numero intero " << endl;  
    while (cin >> i)  
    {  
        cout << "Numero intero: " << i << endl;  
        cout << "Inserisci un numero intero " << endl;  
    }  
    system("PAUSE");  
    return 0;  
}
```

```
Inserisci un numero intero  
3  
Numero intero: 3  
Inserisci un numero intero  
x  
Premere un tasto per continuare ...
```

### 5.3 Errori sullo stream di ingresso (V)

```
// Legge e stampa numeri interi.  
// Termina quando viene inserito un carattere non  
// consistente con la sintassi delle costanti intere  
// Versione 4  
  
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    int i;  
    while (cout << "Inserisci un numero intero " << endl  
           && cin >> i)  
    {  
        cout << "Numero intero: " << i << endl;  
        system("PAUSE");  
        return 0;  
    }  
}
```

```
Inserisci un numero intero  
3  
Numero intero: 3  
Inserisci un numero intero  
x  
Premere un tasto per continuare ...
```

### 5.3 Errori sullo stream di ingresso (VI)

```
// Legge e stampa caratteri.  
// Termina quando viene inserito il fine stream  
  
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    char c;  
    while (cout << "Inserisci un carattere " << endl &&  
           cin >> c)  
        cout << "Carattere: " << c << endl;  
    system("PAUSE");  
    return 0;  
}
```

```
Inserisci un carattere  
s e  
Carattere: s  
Inserisci un carattere  
Carattere: e  
Inserisci un carattere  
a  
Carattere: a  
Inserisci un carattere  
^Z  
Premere un tasto per continuare ...
```

### 5.3 Errori sullo stream di ingresso (VII)

```
// Legge e stampa caratteri.  
// Termina quando viene inserito il fine stream  
  
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;  
int main()  
{  
    char c;  
    while (cout << "Inserisci un carattere " << endl &&  
           cin.get(c))  
        cout << "Carattere: " << c << endl;  
    system("PAUSE");  
    return 0;  
}
```

```
Inserisci un carattere  
s e  
Carattere: s  
Inserisci un carattere  
Carattere:  
Inserisci un carattere  
Carattere:  
Inserisci un carattere  
Carattere: e  
Inserisci un carattere  
Carattere:  
  
Inserisci un carattere  
^Z  
Premere un tasto per continuare ...
```

### 5.3 Errori sullo stream di ingresso (VIII)

```
// Uso della funzione membro clear()
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char c;
    cout << "Inserisci i caratteri (termina con ^Z)\n";
    while (cin>>c)
        cout << c << endl;
    cout << "Inserisci i caratteri (termina con ^Z)\n";
    while (cin>>c)
        cout << c << endl;
    cout << "Stream in stato di errore" << endl;
    cin.clear();
    cout << "Inserisci i caratteri (termina con ^Z)\n";
    while (cin>>c)
        cout << c << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci i caratteri (termina con ^Z)
a
a
^Z
Inserisci i caratteri (termina con ^Z)
Stream in stato di errore
Inserisci i caratteri (termina con ^Z)
^Z
Premere un tasto per continuare . . .
```

### 5.3 Errori sullo stream di ingresso (IX)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i; char c;
    cout << "Inserisci numeri interi" << endl;
    while (cin>>i)
        cout << i << endl;
    if (!cin)
        cout << "Stream in stato di errore" << endl;
    cin.clear();
    cout << "Inserisci numeri interi" << endl;
    while (cin>>i)
        cout << i << endl;
    if (!cin)
        cout << "Stream in stato di errore" << endl;
    cin.clear();
    while (cin.get(c) && c!='\n');
    cout << "Inserisci numeri interi" << endl;
    while (cin>>i)
        cout << i << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci numeri interi
p
Stream in stato di errore
Inserisci numeri interi
Stream in stato di errore
Inserisci numeri interi
1
1
...
```

## 5.4 Stream di uscita

### Stream di uscita standard (cout):

- per scrivere su cout si usa l'istruzione di scrittura (o di uscita), che ha la forma:

basic-output-expression-statement  
output-stream << expression ;

### Azione:

- calcolo dell'espressione e sua conversione in una sequenza di caratteri;
- trasferimento di questi nelle varie caselle dello stream, a partire dalla prima;
- il puntatore e la marca di fine stream si spostano in avanti, e in ogni momento il puntatore individua la marca di fine stream.

### Possono essere scritti:

- numeri interi;
- numeri reali;
- singoli caratteri;
- sequenze di caratteri (costanti stringa).

### Nota:

- un valore di tipo booleano o di un tipo enumerato viene implicitamente convertito in intero (codifica del valore) .

## 5.4 Istruzione di scrittura (l)

### Istruzione di uscita:

- è un'istruzione espressione;
- il risultato è lo stream;
- analogamente all'istruzione di ingresso, consente di effettuare più scritture in sequenza.

### Formato di scrittura (parametri):

- *ampiezza del campo* (numero totale di caratteri impiegati, compresi eventuali spazi per l'allineamento);
- *lunghezza della parte frazionaria* (solo per i numeri reali);

### Parametri:

- valori default fissati dall'implementazione;
- possono essere cambiati dal programmatore.

### Ridirezione:

- col comando di esecuzione del programma, lo stream *cout* può essere ridiretto su un file *file.out* residente su memoria di massa;
- comando DOS/Windows (*scrivi.exe* è un file eseguibile):  
scrivi.exe > file.out

## 5.4 Istruzione di scrittura (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
int main()
{
    double d = 1.564e-2, f=1.2345, i;
    cout << d << endl;
    cout << setprecision(2) << d << '\t' << f << endl;
    cout << d << endl;
    cout << setw(10) << d << '\t' << f << endl;
    cout << d << endl;
    cout << hex << 10 << '\t' << 11 << endl;
    cout << oct << 10 << '\t' << 11 << endl;
    cout << dec << 10 << '\t' << 11 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
0.01564
0.016 1.2
0.016
0.016 1.2
0.016
a b
12 13
10 11
Press any key to continue . . .
```

## 5.5 Manipolazione dei file (I)

Stream associati ai file visti dal sistema operativo:

- gestiti da una apposita libreria;
- occorre includere il file di intestazione `<fstream>`.

Dichiarazione:

```
basic-file-stream-definition
fstream identifier-list ;
```

Esempio:

```
fstream ingr, usc;
```

Funzione *open()*:

- associa uno stream ad un file;
- apre lo stream secondo opportune modalità;
- le modalità di apertura sono rappresentate da opportune costanti
  - lettura => costante *ios::in*;
  - scrittura => costante *ios::out*;
  - scrittura alla fine del file (append)  
=> costante *ios::out* / *ios::app*;
- il nome del file viene specificato come stringa (in particolare, come costante stringa).

## 5.5 Manipolazione dei file (II)

### Esempio:

```
ingr.open("file1.in", ios::in);  
usc.open("file2.out", ios::out);
```

### Stream aperto in lettura:

- il file associato deve essere già presente;
- il puntatore si sposta sulla prima casella.

### Stream aperto in scrittura:

- il file associato, se non presente, viene creato;
- il puntatore si posiziona all'inizio dello stream, sul quale compare solo la marca di fine stream (eventuali dati presenti nel file vengono perduti).

### Stream aperto in append:

- il file associato, se non presente, viene creato;
- il puntatore si sposta alla fine dello stream, in corrispondenza della marca di fine stream (eventuali dati presenti nel file non vengono perduti).

## 5.5 Manipolazione dei file (III)

### Stream aperto:

- utilizzato con le stesse modalità e gli stessi operatori visti per gli stream standard;
- le operazioni effettuate sugli stream coinvolgono i file a cui sono stati associati.

#### – Scrittura:

- usc << 10;

#### – Lettura:

- ingr >> x

### Funzione *close()*:

- chiude uno stream aperto, una volta che è stato utilizzato.

```
ingr.close();  
usc.close();
```

### Stream chiuso:

- può essere riaperto, associandolo ad un qualunque file e con una modalità arbitraria.

### Fine del programma:

- tutti gli stream aperti vengono automaticamente chiusi.

### Errori:

- quanto detto per lo stream *cin* vale anche per qualunque altro stream aperto in lettura.

## 5.5 Manipolazione dei file (IV)

```
// Scrive 4 numeri interi nel file "esempio".
// Apre il file in lettura e stampa su video il suo contenuto
#include <cstdlib>
#include <fstream>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    fstream ff;
    int num;
    ff.open("esempio", ios::out);
    if (!ff)
    {
        cerr << "Il file non puo' essere aperto" << endl;
        exit(1); // funzione exit
    }
    for (int i = 0; i < 4; i++)
        ff << i << endl; // ATT. separare numeri
    ff.close();
    ff.open("esempio", ios::in);
    if (!ff)
    {
        cerr << "Il file non puo' essere aperto" << endl;
        exit(1);
    }
    while (ff >> num) // fino alla fine del file
        cout << num << '\t';
    cout << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

0 1 2 3  
Premere un tasto per continuare ...

218

## 5.5 Manipolazione dei file (V)

```
// Apre in lettura il file "esempio" e legge N numeri interi.
// Controlla che le istruzioni di lettura non portino
// lo stream in stato di errore
#include <cstdlib>
#include <fstream>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    fstream ff;
    int i, num;
    const int N = 6;
    ff.open("esempio", ios::in);
    if (!ff)
    {
        cerr << "Il file non puo' essere aperto" << endl;
        exit(1);
    }
    for (i = 0; i < N && ff >> num; i++)
        cout << num << '\t';
    cout << endl;
    if (i != N)
        cerr << "Errore nella lettura del file " << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

0 1 2 3  
Errore nella lettura del file  
Premere un tasto per continuare ...

219

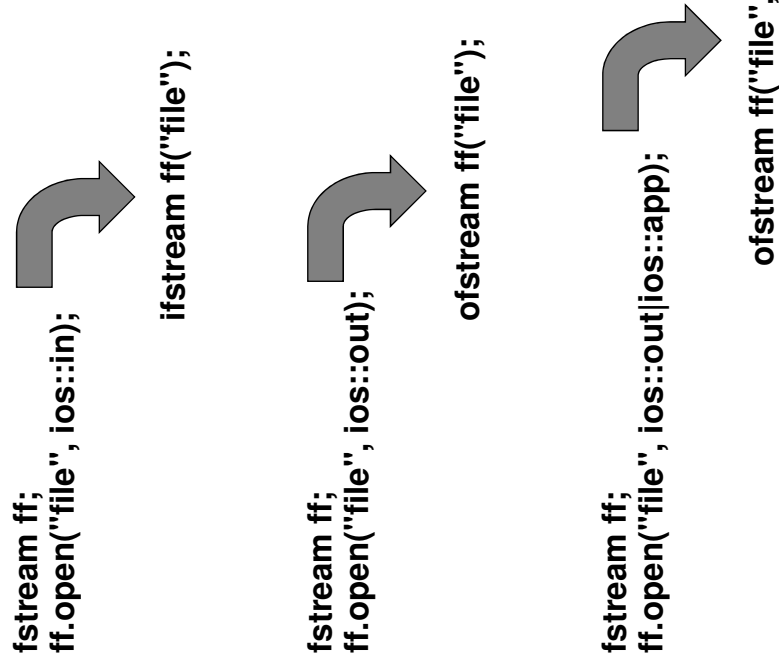
## 5.5 Manipolazione dei file (VI)

```
// Esempio apertura in append.
#include <cstdlib>
#include <fstream>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    fstream ff;
    int i; char c;
    ff.open("esempio", ios::out);
    if (!ff)
    { cerr << "Il file non puo' essere aperto" << endl;
      exit(1);
    }
    for (int i = 0; i < 4; i++)
        ff << i << '\t';
    ff.close();
    ff.open("esempio", ios::out | ios::app);
    ff << 5 << '\t' << 6 << endl;
    ff.close();
    ff.open("esempio", ios::in);
    if (!ff)
    { cerr << "Il file non puo' essere aperto" << endl;
      exit(1);
    }
    while (ff.get(c))
        cout << c;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

0 1 2 3 5 6  
Premere un tasto per continuare ...

## 5.5 Manipolazione dei file (VII)

### Versioni alternative





## 7.1 Concetto di funzione (I)

```
// Problema
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int n;
int main()
{
    int f;
    cout << "Inserisci un numero intero: ";
    cin >> n;
    f = 1;
    for (int i = 2; i <= n; i++)
        f *= i;
    cout << "Il fattoriale e': " << f << endl;
    /* Altre elaborazioni */
    cout << "Inserisci un numero intero ";
    cin >> n;
    f = 1;
    for (int i = 2; i <= n; i++)
        f *= i;
    cout << "Il fattoriale e': " << f << endl;
    /* Altre elaborazioni */
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci un numero intero: 4  
Il fattoriale e': 24  
Inserisci un numero intero: 5  
Il fattoriale e': 120  
Premere un tasto per continuare ...

## 7.1 Concetto di funzione (II)

```
// Soluzione 1
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int n;
int fatt()
{
    int ris = 1;
    for (int i = 2; i <= n; i++)
        ris *= i;
    return ris;
}

int main()
{
    int f;
    cout << "Inserisci un numero intero: ";
    cin >> n;
    f = fatt();
    cout << "Il fattoriale e': " << f << endl;
    /* Altre elaborazioni */
    cout << "Inserisci un numero intero: ";
    cin >> n;
    f = fatt();
    cout << "Il fattoriale e': " << f << endl;
    /* Altre elaborazioni */
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci un numero intero: 4  
Il fattoriale e': 24  
Inserisci un numero intero: 5  
Il fattoriale e': 120  
Premere un tasto per continuare ...

## 7.1 Concetto di funzione (III)

```
// Soluzione 2
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int fatt(int n)
{
    int ris = 1;
    for (int i = 2; i <= n; i++)
        ris *= i;
    return ris;
}

int main()
{
    int i, f;
    cout << "Inserisci un numero intero: ";
    cin >> i;
    f = fatt(i);
    cout << "Il fattoriale e': " << f << endl;
    /* Altre elaborazioni */
    cout << "Inserisci un numero intero: ";
    cin >> i;
    f = fatt(i);
    cout << "Il fattoriale e': " << f << endl;
    /* Altre elaborazioni */
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero: 4
Il fattoriale e': 24
Inserisci un numero intero: 5
Il fattoriale e': 120
Premere un tasto per continuare ...
```

224

## 7.1 Concetto di funzione (IV)

Variabili definite in una funzione:

- *locali* alla funzione;

Nomi di variabili locali e di argomenti formali:

- associati ad oggetti che appartengono alla funzione in cui sono definiti;
- se uno stesso nome viene utilizzato in funzioni diverse, si riferisce in ciascuna funzione ad un oggetto diverso;
- in questo caso si dice che il nome è *visibile* solo nella rispettiva funzione.

Chiamata:

- gli argomenti formali e le variabili locali vengono allocati in memoria;
- gli argomenti formali vengono inizializzati con i valori degli argomenti attuali (passaggio per valore);
- gli argomenti formali e le variabili locali vengono utilizzati per le dovute elaborazioni;
- al termine della funzione, essi vengono deallocati, e la memoria da essi occupata viene resa disponibile per altri usi.

Istanza di funzione:

- nuova copia degli argomenti formali e delle variabili locali (nascono e muoiono con l'inizio e la fine della esecuzione della funzione);
- il valore di una variabile locale ottenuto durante una certa esecuzione della funzione non viene conservato per le successive istanze.

225

## 7.1 Concetto di funzione (V)

- Quando una funzione viene invocata, viene creata in memoria un'istanza della funzione;
- L'istanza ha un tempo di vita pari al tempo di esecuzione della funzione

// Istanza di funzione

|                   |
|-------------------|
| Variabili locali  |
| Argomenti formali |

Esempio: funzione *int fatt(int n)* precedente

|             |         |
|-------------|---------|
| 1           | int ris |
| Valore di i | int n   |

Esempio: funzione *main()* precedente

|     |       |
|-----|-------|
| ... | int f |
| ... | int i |

## 7.3.1 Istruzione return (I)

```
// Restituisce il massimo termine della successione di
// Fibonacci minore o uguale al dato intero positivo n

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

unsigned int fibo(unsigned int n)
{
    unsigned int i = 0, j = 1, s;
    for (;;)
    {
        if ((s = i + j) > n)
            return j;
        i = j;
        j = s;
    }
}

int main()
{
    // Istanza della funzione fibo()

    unsigned int n;
    cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
    cin >> n;
    cout << "Termine successione Fibonacci: ";
    cout << fibo(n) << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

|                   |       |
|-------------------|-------|
| ...               | int s |
| 1                 | int j |
| 0                 | int i |
| Valore di n(main) | int n |

Istanza della funzione fibo()

Istanza della funzione main()

Inserisci un numero intero  
12

Termine successione Fibonacci: 8

Premere un tasto per continuare ...

### 7.3.1 Istruzione return (II)

```
// Controlla se un intero e' positivo, negativo o nullo
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
enum val {N, Z, P};
val segno(int n)
{
    if (n > 0)
        return P;
    if (n == 0)
        return Z;
    return N;
}

int main ()
{
    int i;
    // termina se legge un valore illegale per i
    while (cout << "Numero intero? " && cin >> i)
        switch (segno(i))
        {
            case N:
                cout << "Valore negativo" << endl;
                continue;
            case Z:
                cout << "Valore nullo" << endl;
                continue;
            case P:
                cout << "Valore positivo" << endl;
        }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

228

### 7.3.1 Istruzione return (III)

```
// Controlla se un intero e' positivo, negativo o nullo

Numero intero? -10
Valore negativo
Numero intero? 3
Valore positivo
Numero intero? 0
Valore nullo
Numero intero? ^Z
Premere un tasto per continuare ...
```

Prima istanza funzione segno()

int n

Seconda istanza funzione segno()

int n

Terza istanza funzione segno()

int n

229

## 7.4 Dichiarazioni di funzioni (I)

```
// Controlla se i caratteri letti sono lettere minuscole o
// numeri.
```

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    char c;
    while (cout << "Carattere:? " << endl && cin >> c)
        if (!is_low_dig(c)) // ERRORE!
        {
            system("PAUSE");
            return 0;
        }
}

bool is_low_dig(char c)
{
    return (c >= '0' && c <= '9' ||
            c >= 'a' && c <= 'z') ? true : false;
}
```

**ERRORE SEGNALATO IN FASE DI COMPILAZIONE**

9: 'is\_low\_dig' undeclared (first use this function)

## 7.4 Dichiarazioni di funzioni (II)

```
// Controlla se i caratteri letti sono lettere minuscole o
// numeri.
```

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

bool is_low_dig(char c); // oppure bool is_low_dig(char);

int main()
{
    char c;
    while (cout << "Carattere:? " << endl && cin >> c)
        if (!is_low_dig(c))
        {
            system("PAUSE");
            return 0;
        }
}

bool is_low_dig(char c)
{
    return (c >= '0' && c <= '9' ||
            c >= 'a' && c <= 'z') ? true : false;
}
```

```
Carattere:?
r
Carattere:?
3
Carattere:?
A
Premere un tasto per continuare ...
```

## 7.6 Argomenti e variabili locali (I)

```
// Somma gli interi compresi tra i dati interi n ed m,
// estremi inclusi, con n <= m

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int sommaInteri(int n, int m)
{
    int s = n;
    for (int i = n+1; i <= m; i++)
        s += i;
    return s;
}

int main ()
{
    int a, b;
    while (cout << "Due interi? " && cin >> a >> b)
        // termina se legge un valore illegale per a, b
        cout << sommaInteri(a, b) << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Due interi? 1 2  
3

Due interi? 4 5  
9

Due interi? s  
Premere un tasto per continuare ...

|  | int s | int m | int n |
|--|-------|-------|-------|
|  | 1     |       |       |
|  | 2     |       |       |
|  | 1     |       |       |

|  | int s | int m | int n |
|--|-------|-------|-------|
|  | 4     |       |       |
|  | 5     |       |       |
|  | 4     |       |       |

## 7.6 Argomenti e variabili locali (II)

```
// Calcola il massimo fra tre numeri interi

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int massimo(int a, int b, int c)
{
    return ((a > b) ? ((a > c) ? a : c) : (b > c) ? b : c);
}

int main()
{
    int i, j, k;
    cout << "Inserisci tre numeri: ";
    cin >> i >> j >> k;
    int m = massimo (i, j, k);
    cout << m << endl;
    /*...*/
    double x, y, z;
    cout << "Inserisci tre numeri: ";
    cin >> x >> y >> z;
    double w = massimo (x, y, z);
    // Si applicano le regole standard per la conversione di tipo.
    cout << w << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci tre numeri: 3 4 5  
5

Inserisci tre numeri: 3.3 4.4 5.5  
5

Premere un tasto per continuare ...

## 7.7 Funzioni void

```
// Scrive asterischi
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void scriviAsterischi(int n)
{
    for (int i = 0; i < n; i++)
        cout << '*';
    cout << endl;
}

int main()
{
    int i;
    cout << "Quanti asterischi? ";
    cin >> i;
    scriviAsterischi(i);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Quanti asterischi? 20

\*\*\*\*\*

Premere un tasto per continuare . . .

## 7.8 Funzioni senza argomenti

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

const int N = 20;
void scriviAsterischi(void) // anche void scriviAsterischi()
{
    for (int i = 0; i < N; i++)
        cout << '*';
    cout << endl;
}

int main()
{
    scriviAsterischi();
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

\*\*\*\*\*

Premere un tasto per continuare . . .

## 7.9 Funzioni ricorsive (I)

### Funzione:

- può invocare, oltre che un'altra funzione, anche se stessa;
- in questo caso si ha una funzione *ricorsiva*.

### Funzione ricorsiva:

- naturale quando il problema risulta formulato in maniera ricorsiva;
- esempio (fattoriale di un numero naturale  $n$ ):

$\text{fattoriale}(n) = 1$       se  $n = 0$   
 $n * \text{fattoriale}(n-1)$     se  $n > 0$

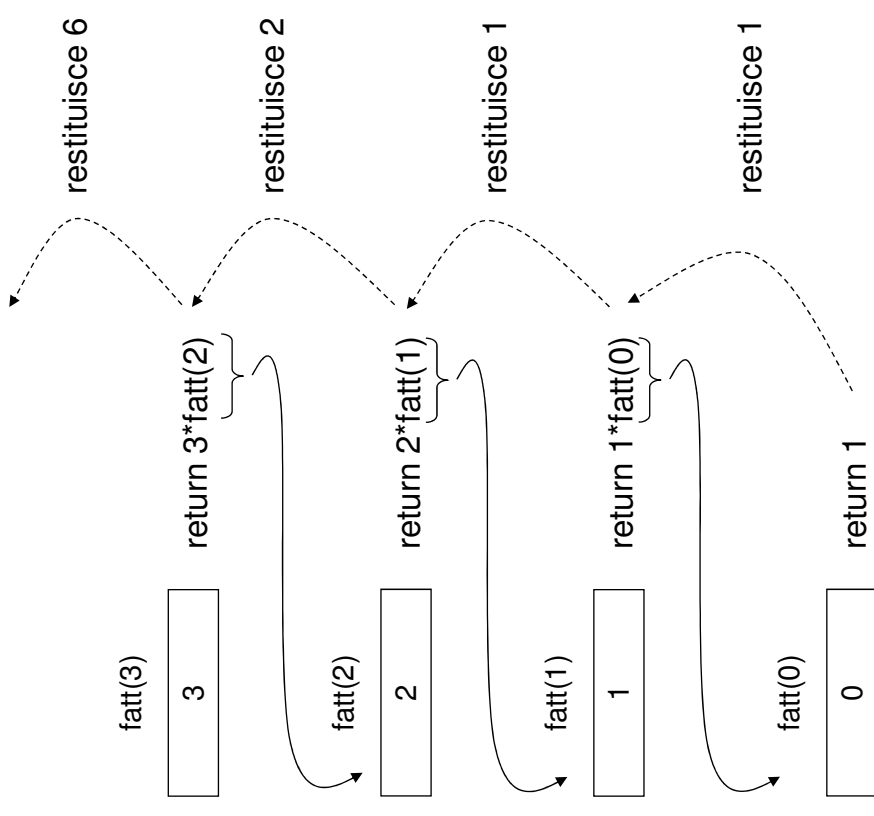
```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
int fatt(int n)
{ if (n == 0) return 1;
  return n * fatt(n - 1);
}
```

```
int main()
{
    cout << "Il fattoriale di 3 e': " << fatt(3) << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

**Il fattoriale di 3 e': 6**  
**Premere un tasto per continuare ...**

## 7.9 Funzioni ricorsive (II)





## 7.9 Funzioni ricorsive (III)

**Massimo comun divisore:**

```
int mcd(int alfa, int beta)
{
    if (beta == 0) return alfa;
    return mcd(beta, alfa % beta);
}
```

**Somma dei primi n naturali:**

```
int somma(int n)
{
    if (n == 0) return 0;
    return n + somma(n - 1);
}
```

**Reale elevato a un naturale:**

```
double pot(double x, int n)
{
    if (n == 0) return 1;
    return x * pot(x, n - 1);
}
```

**Elementi della serie di Fibonacci:**

```
int fib(int n)
{
    if (n == 1) return 0;
    if (n == 2) return 1;
    return fib(n - 1) + fib(n - 2);
}
```

## 7.9 Funzioni ricorsive (IV)

// Legge una parola terminata da un punto, e la scrive  
// in senso inverso. Per esempio, "pippo" diventa  
// "oppip".

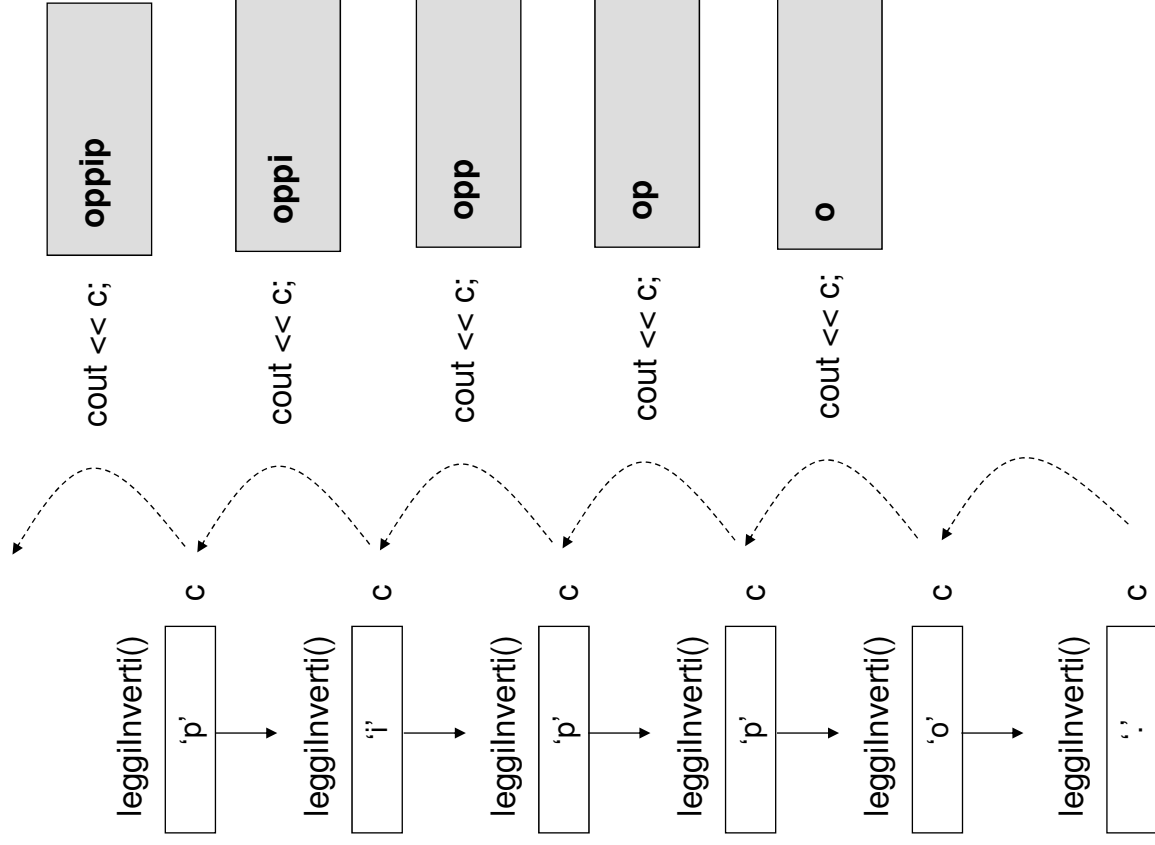
```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
void leggiInverti()
{
    char c;
    cin >> c;
    if (c != '.')
    {
        leggiInverti();
        cout << c;
    }
}

int main()
{
    leggiInverti();
    cout << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
pippo.
oppip
Premere un tasto per continuare . . .
```

## 7.9 Funzioni ricorsive (V)



## 7.9 Funzioni ricorsive (VI)

### Formulazione ricorsiva di una funzione:

- individuazione di uno o più *casi base*, nei quali termina la successione delle chiamate ricorsive;
- definizione di uno o, condizionalmente, di più passi ricorsivi;
- ricorsione controllata dal valore di un argomento di controllo, in base al quale si sceglie se si tratta di un caso base o di un passo ricorsivo;
- in un passo ricorsivo, la funzione viene chiamata nuovamente passando un nuovo valore dell'argomento di controllo;
- il risultato di questa chiamata, spesso ulteriormente elaborato, viene restituito al chiamante dell'istanza corrente;
- nei casi base, il risultato viene calcolato senza altre chiamate ricorsive.

### Schema di calcolo:

- parallelo a quello usato nelle computazioni iterative.

## 7.9 Funzioni ricorsive (VII)

### NOTA BENE:

- ogni funzione può essere formulata sia in maniera ricorsiva che in maniera iterativa;
- spesso, la formulazione iterativa è più conveniente, in termini di tempo di esecuzione e di occupazione di memoria.
- in diversi casi è più agevole (per il programmatore) esprimere un procedimento di calcolo in maniera ricorsiva;
- questo può riflettersi in una maggiore concisione e chiarezza del programma, e quindi una minore probabilità di commettere errori.

## 7.9 Funzioni ricorsive (Esempio)

Scrivere una funzione ricorsiva che stampi su uscita standard un triangolo rettangolo rovesciato composto di asterischi. I due cateti del triangolo contengono lo stesso numero N di asterischi. Nell'esempio seguente N = 3.

```
* * *  
* *  
*  

```

## 7.9 Funzioni ricorsive (Esempio)

```
void scrivi(int n)
{
    if (n==0) return;
    for (int i=0; i<n; i++)
        cout << " ";
    cout << endl;
    scrivi(n-1);
}
```

## 3.11 Librerie

### Libreria:

- insieme di funzioni (sottoprogrammi) precompilate;
- formata da coppie di file;
- per ogni coppia un file contiene alcuni sottoprogrammi compilati ed uno contiene le dichiarazioni dei sottoprogrammi stessi (quest'ultimo è detto file di intestazione e il suo nome termina tipicamente con l'estensione *h*).

### Utilizzo di funzioni di libreria:

- nella fase di scrittura del programma, includere il file di intestazione della libreria usando la direttiva `#include`;
- nella fase di collegamento, specificare la libreria da usare, secondo le convenzioni dell'ambiente di sviluppo utilizzato.

### Esempio:

- programma contenuto nel file *mioprog.cpp*, che usa delle funzioni della libreria matematica;
- deve contenere la direttiva:  
`#include <cmath>`
- Alcune librerie C++ sono disponibili in tutte le implementazioni e contengono gli stessi sottoprogrammi.

## 3.11 Libreria standard

- *abs(n)* valore assoluto di n;
- *rand()* intero pseudocasuale compreso fra 0 e la costante predefinita *RAND\_MAX*;
- *srand(n)* inizializza la funzione *rand()*.

### cctype

Restituiscono un valore booleano

- *isalnum(c)* lettera o cifra;
- *isalpha(c)* lettera;
- *isdigit(c)* cifra;
- *islower(c)* lettera minuscola;
- *isprint(c)* carattere stampabile, compreso lo spazio;
- *isspace(c)* spazio, salto pagina, nuova riga, ritorno carrello, tabulazione orizzontale, tabulazione verticale;
- *isupper(c)* lettera maiuscola;

## 3.11 Libreria standard

### cmath

- funzioni trigonometriche (x è un double)
  - *sin(x)* seno di x;
  - *cos(x)* coseno di x;
  - *tan(x)* tangente di x;
  - *asin(x)* arcseno di x;
  - *acos(x)* arcocoseno di x
  - *atan(x)* arcotangente di x
- funzioni esponenziali e logaritmiche
  - *exp(x)* e elevato alla x;
  - *log(x)* logaritmo in base e di x;
  - *log10(x)* logaritmo in base 10 di x;
- altre funzioni (anche y è un double)
  - *fabs(x)* valore assoluto di x;
  - *ceil(x)* minimo intero maggiore o uguale a x;
  - *floor(x)* massimo intero minore o uguale a x;
  - *pow(x, y)* x elevato alla y;
  - *sqrt(x)* radice quadrata di x;

## 8.1 Tipi derivati

### Tipi fondamentali:

- da questi si possono *derivare* altri tipi;
- dal tipo *int* si deriva il tipo *puntatore a int*.
  - variabile appartenente a questo tipo: può assumere come valori indirizzi di interi.
- dal tipo *int* si deriva il tipo *array di 4 int*:
  - variabile appartenente a questo tipo: può assumere come valori 4 interi.

### Meccanismi di derivazione:

- possono essere composti fra di loro, permettendo la definizione di tipi derivati arbitrariamente complessi;
- prendendo gli interi come base, si possono definire array di puntatori a interi, puntatori ad array di interi, array di array di interi, eccetera.

### Tipi derivati:

- riferimenti;
- puntatori;
- array;
- strutture;
- unioni;
- classi.

## 8.2 Riferimenti (I)

### Riferimento:

- identificatore che individua un oggetto;
- riferimento default: il nome di un oggetto, quando questo è un identificatore.
- oltre a quello default, si possono definire altri riferimenti di un oggetto (sinonimi o *alias*).

### Tipo riferimento:

- possibili identificatori di oggetti di un dato tipo (il tipo dell'oggetto determina il tipo del riferimento).

Dichiarazione di un tipo riferimento e definizione di un riferimento sono contestuali.

### Sintassi:

*basic-reference-definition*

*reference-type-indicator identifier*

*reference-initializer*opt

*reference-type-indicator*

*type-indicator* &

*reference-initializer*

= *object-name*

- indicatore di tipo:

- *specifica tipo dell'oggetto riferito;*

**Non si possono definire riferimenti di riferimenti.**

8.2 Riferimenti (II)

8.2.1 Riferimenti const (I)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int main ()
{
    int i = 1;
    const int &r = i;           // Notare: i non è costante

    int j = 10;
    j = r;                     // OK
    cout << j << endl;        // 1

    // r = 1;
    i++;                        // ERRORE!

    const int k = 10;
    const int &t = k;           // OK
    cout << t << endl;        // 10

    // int &tt = k;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

1  
10  
Premere un tasto per continuare . . .

|     |    |      |
|-----|----|------|
| 112 | 10 | k, t |
| 116 | 10 | j    |
| 120 | 1  | i, r |

8.2 Riferimenti (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int main ()
{
    int i = 10;
    int &r = i;
    int &s = r;
    int &s;           // ERRORE, deve essere sempre iniz.
    int &s = 10;      // ERRORE
    cout << i << '\t' << r << '\t' << s << endl; // 10 10 10
    r++;
    cout << i << '\t' << r << '\t' << s << endl; // 11 11 11

    int h = 0, k = 1;
    int &r1 = h, &r2 = k; // due riferimenti
    int &r3 = h, r4;      // un riferimento ed un intero

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

10 10 10  
11 11 11  
Premere un tasto per continuare . . .

|     |    |           |
|-----|----|-----------|
| 112 | 1  | k, r2     |
| 116 | 0  | h, r1, r3 |
| 120 | 10 | i, r, s   |

### 8.2.2 Riferimenti come argomenti (I)

```
// Scambia interi (ERRATO)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void scambia (int a, int b)
{ // scambia gli argomenti attuali
  int c = a;
  a = b;
  b = c;
}

int main ()
{
  int i, j;
  cout << "Inserisci due interi: " << endl;
  cin >> i >> j;
  scambia (i, j);
  cout << i << "t" << j << endl;
  system("PAUSE");
  return 0;
}
```

|                   |   |                   |     |
|-------------------|---|-------------------|-----|
| Istanza (scambia) |   | Istanza (scambia) |     |
| 96                | 3 | b                 | 96  |
| 100               | 2 | a                 | 100 |

|                |   |                |     |
|----------------|---|----------------|-----|
| Istanza (main) |   | Istanza (main) |     |
| 116            | 3 | j              | 116 |
| 120            | 2 | i              | 120 |

### 8.2.2 Riferimenti come argomenti (II)

**Argomento di una funzione:**

- può essere di un tipo riferimento;
- in questo caso:
  - l'argomento formale corrisponde a un contenitore senza nome, che ha per valore il riferimento;
  - nel corpo della funzione, ogni operazione che coinvolge l'argomento formale agisce sull'entità riferita.

**Chiamata della funzione:**

- il riferimento argomento formale viene inizializzato con un riferimento del corrispondente argomento attuale;

**Argomenti riferimento:**

- devono essere utilizzati quando l'entità attuale può essere modificata.

**In sintesi:**

- la funzione agisce sulle entità riferite dagli argomenti attuali.

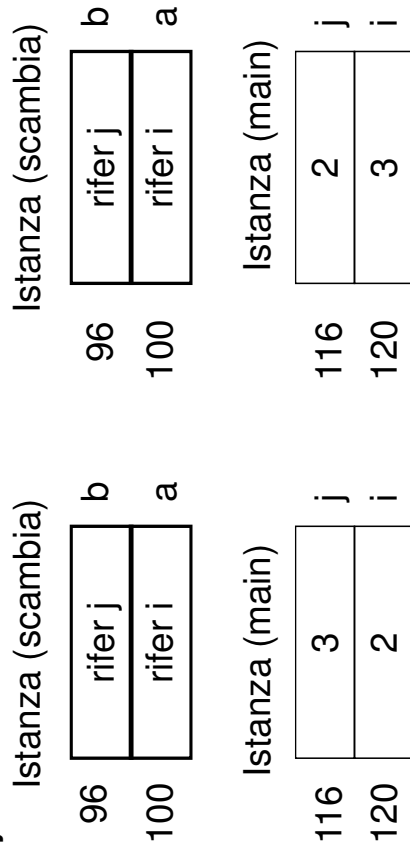


### 8.2.2 Riferimenti come argomenti (III)

```
// Scambia interi (trasmissione mediante riferimenti)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void scambia (int &a, int &b)
{ // scambia i valori degli oggetti riferiti
  int c = a;
  a = b;
  b = c;
}

int main ()
{
  int i, j;
  cout << "Inserisci due interi: " << endl;
  cin >> i >> j;
  scambia (i, j);
  cout << i << "t" << j << endl;
  system("PAUSE");
  return 0;
}
```



### 8.2.3 Riferimenti const come argomenti (I)

```
// Calcolo dell'interesse (trasmissione mediante
// riferimenti di oggetti costanti)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

float interesse(int importo, const float& rateo)
{
  float inter = rateo*importo; //OK
  // rateo += 0.5;             ERRORE!
  return inter;
}

int main()
{
  cout << "Interesse : " << interesse(1000,1.2) << endl;
  system("PAUSE");
  return 0;
}
```

Interesse : 1200  
Premere un tasto per continuare . . .

## 8.2.2 Riferimenti risultato di funzione (I)

```
// Riferimenti come valori restituiti (i)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int& massimo(int &a, int &b)
{
    return a > b ? a : b;
}

int main ()
{
    int i, j;
    cout << "Inserisci due interi: " << endl;
    cin >> i >> j;
    cout << "Valore massimo ";
    cout << massimo(i, j) << endl;
    massimo(i, j) = 5;
    cout << i << 't' << j << endl;
    massimo(i, j)++;
    cout << i << 't' << j << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci due interi:
1 3
Valore massimo 3
1 5
1 6
Premere un tasto per continuare ...
```

## 8.2.2 Riferimenti risultato di funzioni (II)

```
// Riferimenti come valori restituiti (ii)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int& massimo(int &a, int &b)
{
    int &p = a > b ? a : b;
    return p;
}

// OK. Restituisce un riferimento

// ~~~~~
// Riferimenti come valori restituiti (iii)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int& massimo(int a, int b)
{
    return a > b ? a : b;
    // ERRORE. Riferimento ad un argomento attuale che
    // viene distrutto
}
```

**NOTA BENE:** l'errore non è segnalato dal compilatore.

### 8.2.3 Riferimenti risultato di funzioni (III)

// Riferimenti const come valori restituiti (iii)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

const int& massimo(const int& a, const int& b)
{
    return a > b ? a : b;
}

int main ()
{
    int i, j;
    cout << "Inserisci due interi: " << endl;
    cin >> i >> j;
    cout << "Valore massimo ";
    cout << massimo(i, j) << endl;

    // massimo(i, j) = 5;      ERRORE
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci due interi:  
1 3  
Valore massimo 3  
Premere un tasto per continuare . . .

### 8.2.3 Riferimenti (IV)

Argomento formale di una funzione e risultato prodotto da una funzione:

- possono essere riferimenti con l'attributo *const*.

Argomento formale con l'attributo *const*:

- può avere come corrispondente un argomento attuale senza tale attributo, ma non è lecito il contrario.

Risultato con l'attributo *const*:

- una istruzione *return* può contenere un'espressione senza tale attributo, ma non è lecito il contrario.

Operatore *const\_cast*:

- converte un riferimento *const* in un riferimento non *const*.

### 8.2.3 Riferimenti (V)

```
// Riferimenti come valori restituiti (i)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int& massimo(const int &a, const int &b)
{
    return const_cast<int&>(a > b ? a : b);
}

//ERRATO
//int& massimoErrato(const int& a, const int& b)
//{
//    return a > b ? a : b;
//}

int main ()
{
    int i, j;
    cout << "Inserisci due interi: " << endl;
    cin >> i >> j;
    cout << "Valore massimo ";
    cout << massimo(i, j) << endl;
    massimo(i, j) = 5;
    cout << i << "t" << j << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}

Inserisci due interi:
1 3
Valore massimo 3
1 5
Premere un tasto per continuare . . .
```

260

### 8.2.3 Riferimenti (VI)

**Esempio:**

- il risultato della funzione è di tipo *int&*;
- nella istruzione *return* compare un riferimento *const*;
- si rende opportuna una conversione esplicita di tipo:

```
int& maxr1(const int& ra, const int& rb)
{
    if (ra >= rb) return const_cast<int&>(ra);
    return const_cast<int&>(rb);
}

const int& maxr1(const int& ra, const int& rb)
{
    if (ra >= rb) return const_cast<int&>(ra);
    return rb;
}
```

261

### 8.3 Puntatori (I)

#### Puntatore:

- oggetto il cui valore rappresenta l'indirizzo di un altro oggetto o di una funzione.

#### Tipo puntatore:

- insieme di valori: indirizzi di oggetti o di funzioni di un dato tipo (il tipo dell'oggetto o della funzione determina il tipo del puntatore).

Dichiarazione di un tipo puntatore e definizione di un puntatore sono contestuali.

// Definizione di puntatori

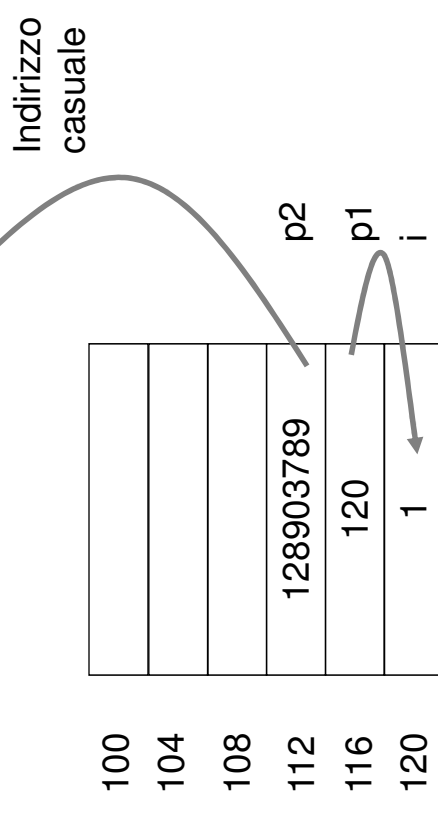
```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int *p1;           // puntatore a interi
    int* p2;
    int * p3;

    int *p4, *p5;      // due puntatori
    int *p6, i1;       // un puntatore ed un intero
    int i2, *p7;       // un intero ed un puntatore

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

### 8.3 Puntatori (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int i = 1;
    int *p1 = &i;      // operatore indirizz
    int *p2;
    ...
}
```



### 8.3 Puntatori (III)

// Operatore indirizzo e operatore di indirezione

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int i = 1;           // operatore indirizzo
    int *p1 = &i;        // operatore di indirezione
    *p1 = 10;            // restituisce un l-value
    int *p2 = p1;        // Due puntatori allo stesso oggetto

    cout << i << '\t' << *p1 << '\t' << *p2 << endl;

    *p2 = 20;
    cout << i << '\t' << *p1 << '\t' << *p2 << endl;

    cout << p1 << '\t' << p2 << endl;

    // p2 = *p1;        // ERRORE: assegna un int ad un punt.
    // *p2 = p1         // ERRORE: assegna un punt. ad un int.

    int *p3;
    *p3 = 2;           // ATTENZIONE: puntatore non iniz.

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
10  10  10
20  20  20
0x22ff6c  0x22ff6c
Premere un tasto per continuare ...
```

264

### 8.3 Puntatori (IV)

// Puntatori allo stesso oggetto

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    char a, b;
    char *p = &a, *q = &b;
    cout << "Inserisci due caratteri " << endl;
    cin >> a >> b;
    *p = *q;
    cout << a << '\t' << b << endl;    // Esempio: 'a' 'b'
    cout << *p << '\t' << *q << endl;    // Esempio: 'b' 'b'

    cout << "Inserisci due caratteri " << endl;
    cin >> a >> b;
    p = q;
    cout << a << '\t' << b << endl;    // Esempio: 'c' 'f'
    cout << *p << '\t' << *q << endl;    // Esempio: 'f' 'f'

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci due caratteri
ab
b  b
b  b
Inserisci due caratteri
cf
c  f
f  f
Premere un tasto per continuare ...
```

265

### 8.3 Puntatori (V)

```
// Puntatori a costanti
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int i = 0;
    const int *p;
    // Nessuna inizializzazione

    p = &i;
    // N.B.: i non e` costante
    // OK

    int j;
    j = *p;
    *p = 1;
    // OK
    // ERRORE! Il valore di i non puo'
    // essere modificato attraverso p

    const int k = 10;
    const int *q = &k;
    // OK

    int *qq;
    qq = &k;
    qq = q;
    // ERRORE! int* = const int*
    // ERRORE! int* = const int*

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

266

### 8.3 Puntatori (VI)

```
// Puntatori costanti
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    char c = 'a';
    char *const p = &c;
    cout << *p << endl;
    // Sempre inizializzato
    // 'a'

    *p = 'b';
    cout << *p << endl;
    // 'b'

    char d = 'c';
    p = &d;
    // ERRORE!

    char *p1, *const p2 = &d;
    p1 = p;
    cout << *p1 << endl;
    // 'b'
    // ERRORE
    // ERRORE!

    p = p2;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

a  
b  
b

Premere un tasto per continuare . . .

267

## 8.3 Puntatori (VII)

```
// Puntatore a puntatore
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int i = 1, j = 10;
    int *pi = &i, *pj = &j;
    int **q1 = &pi;
    cout << **q1 << endl;
    *q1 = pj;
    cout << **q1 << endl;

    int **q2;
    *q2 = pj;
    // ATTENZIONE: nessun oggetto puntato
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

1  
10  
Premere un tasto per continuare ...

## 8.3 Puntatori (VIII)

```
// Puntatori nulli
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int *p = NULL;
    // forma equivalente: int *p = 0;

    *p = 1;
    // ERRORE IN ESECUZIONE!

    if (p == NULL)
        cout << "Puntatore nullo " << endl;
    if (p == 0)
        cout << "Puntatore nullo " << endl;
    if (!p)
        cout << "Puntatore nullo " << endl;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```



### 8.3 Operazioni sui puntatori (I)

#### Operazioni possibili:

- assegnamento di un'espressione che produce un valore indirizzo ad un puntatore;
- uso di un puntatore per riferirsi all'oggetto puntato;
- confronto fra puntatori mediante gli operatori '==' e '!=';
- Stampa su uscita standard utilizzando l'operatore di uscita '<<'. In questo caso, viene stampato il valore in esadecimale del puntatore ossia l'indirizzo dell'oggetto puntato.

#### Un puntatore può costituire un argomento di una funzione:

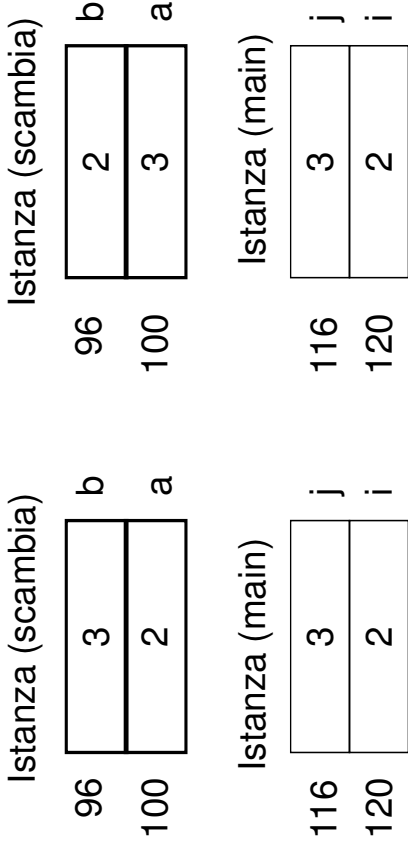
- nel corpo della funzione, per mezzo di indirezioni, si possono modificare gli oggetti puntati.

### 8.3.4 Puntatori come argomenti (I)

```
// Scambia interi (ERRATO)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void scambia (int a, int b)
{ // scambia gli argomenti attuali
  int c = a;
  a = b;
  b = c;
}

int main ()
{
  int i, j;
  cout << "Inserisci due interi: " << endl;
  cin >> i >> j;
  scambia (i, j);
  cout << i << '\t' << j << endl;
  system("PAUSE");
  return 0;
}
```



### 8.3.4 Puntatori come argomenti (II)

```
// Scambia interi (trasmissione mediante puntatori)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void scambia (int *a, int *b)
{ // scambia i valori degli oggetti puntati
  int c = *a;
  *a = *b;
  *b = c;
}

int main ()
{
  int i, j;
  cout << "Inserisci due interi: " << endl;
  cin >> i >> j;
  scambia (&i, &j);
  cout << i << "t" << j << endl;
  system("PAUSE");
  return 0;
}
```

|                   |     |                   |     |
|-------------------|-----|-------------------|-----|
| Istanza (scambia) |     | Istanza (scambia) |     |
| 96                | 116 | 96                | 116 |
| 100               | 120 | 100               | 120 |
| a                 |     | a                 |     |
| b                 |     | b                 |     |

|                |   |                |   |
|----------------|---|----------------|---|
| Istanza (main) |   | Istanza (main) |   |
| 116            | 3 | 116            | 2 |
| 120            | 2 | 120            | 3 |
| i              |   | j              |   |
| j              |   | i              |   |

### 8.3.4 Puntatori come argomenti (III)

```
// Incrementa il maggiore tra due interi
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void incrementa(int *a, int *b)
{
  if (*a > *b)
    (*a)++;
  else
    (*b)++;
}

int main ()
{
  int i, j;
  cout << "Inserisci due interi: " << endl;
  cin >> i >> j;
  incrementa(&i, &j);
  cout << i << "t" << j << endl;
  system("PAUSE");
  return 0;
}
```

|                      |     |                      |     |
|----------------------|-----|----------------------|-----|
| Istanza (incrementa) |     | Istanza (incrementa) |     |
| 96                   | 116 | 96                   | 116 |
| 100                  | 120 | 100                  | 120 |
| a                    |     | a                    |     |
| b                    |     | b                    |     |

|                |   |                |   |
|----------------|---|----------------|---|
| Istanza (main) |   | Istanza (main) |   |
| 116            | 3 | 116            | 4 |
| 120            | 2 | 120            | 2 |
| i              |   | j              |   |
| j              |   | i              |   |

### 8.3.4 Puntatori come risultato di funzioni (I)

```
// Puntatori come valori restituiti (i)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int* massimo(int *a, int *b)
{
    return *a > *b ? a : b;
}

int main ()
{
    int i, j;
    cout << "Inserisci due interi: " << endl;
    cin >> i >> j;
    cout << "Valore massimo ";
    cout << *massimo(&i, &j) << endl;

    *massimo(&i, &j) = 5;
    cout << i << "t' << j << endl;
    // Esempio: 2 5

    // massimo(&i, &j)++;
    // ERRORE: il valore restituito non e' un l-value

    (*massimo(&i, &j))++;
    cout << i << "t' << j << endl;
    // Esempio: 2 6

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci due interi:
2 3
Valore massimo 3
2 5
2 6
Premere un tasto per continuare ...
```

274

### 8.3.4 Puntatori come risultato di funzioni (II)

```
// Puntatori come valori restituiti (ii)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int* massimo(int *a, int *b)
{
    int *p = *a > *b ? a : b;
    return p;
    // Restituisce un puntatore
}

// ~~~~~
// Puntatori come valori restituiti (iii)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int* massimo(int *a, int *b)
{
    int i = *a > *b ? *a : *b;
    return &i;
    // ATTENZIONE: restituisce l'indirizzo di una variabile
    // locale
    // [Warning] address of local variable 'i' returned
}
```

275

### 8.3.4 Puntatori come argomenti costanti (I)

```
// Trasmissione dei parametri
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int* massimo(int *a, int *b)
{
    return *a > *b ? a : b;
}

int main ()
{
    int i = 2;
    const int N = 3;
    cout << "Valore massimo ";
    cout << *massimo(&i, &N) << endl;
    // ERRORE: invalid conversion from 'const int*' to 'int*'

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

276

### 8.3.4 Puntatori come argomenti costanti (II)

```
// Trasmissione di parametri mediante puntatori a
// costanti
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int* massimo(const int *a, const int *b)
{
    return const_cast<int*> (*a > *b ? a : b);
}

/*
int* massimo(const int *a, const int *b)
{
    return *a > *b ? a : b;
    // ERRORE: invalid conversion from 'const int*' to 'int*'
} */

int main ()
{
    int i = 2;
    const int N = 3;
    cout << "Valore massimo ";
    cout << *massimo(&i, &N) << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

277

### 8.3.4 Puntatori come risultato di funzioni

```
// Puntatori a costanti come valori restituiti
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

const int* massimo(const int *a, const int *b)
{
    return *a > *b ? a : b;
}

int main ()
{
    int i = 2;
    const int N = 3;
    cout << "Valore massimo ";
    cout << *massimo(&i, &N) << endl;

    // int *p1 = massimo(&i, &N);    ERRORE

    const int *p2 = massimo(&i, &N);

    // *massimo(&i, &N) = 1;        ERRORE

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Valore massimo 3  
Premere un tasto per continuare ...

278

### 9.1 Tipi e oggetti array (I)

#### Array di dimensione $n$ :

- $n$ -upla ordinata di elementi dello stesso tipo, ai quali ci si riferisce mediante un indice, che rappresenta la loro posizione all'interno dell'array.

#### Tipo dell'array:

- dipende dal tipo degli elementi.

Dichiarazione di un tipo array e definizione di un array sono contestuali.

// Somma gli elementi di un dato vettore di interi

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    const int N = 5;           // dimensione del vettore costante
    int v[N];
    cout << "Inserisci 5 numeri interi " << endl;
    for (int i = 0; i < N; i++)
        cin >> v[i];          // operatore di selezione con indice
    int s = v[0];              // restituisce un l-value
    for (int i = 1; i < N; i++)
        s += v[i];
    cout << s << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Inserisci 5 numeri interi  
1 2 3 4 5  
15  
Premere un tasto per continuare ...

279

### 9.1 Tipi e oggetti array (II)

ATTENZIONE: l'identificatore dell'array identifica l'indirizzo del primo elemento dell'array

v = &v[0]

Nell'esempio, v = 104;

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 104 | 0 | v[0] |
| 108 | 1 | v[1] |
| 112 | 2 | v[2] |
| 116 | 3 | v[3] |
| 120 | 4 | v[4] |

### 9.1 Tipi e oggetti array (III)

// Inizializzazione degli array

#include <cstdlib>

#include <iostream>

using namespace std;

int main ()

{

const int N = 6;

int a[] = {0, 1, 2, 3};

// array di 4 elementi

int b[N] = {0, 1, 2, 3};

// array di N elementi

cout << "Dimensioni array: ";

cout << sizeof a << '\t' << sizeof b << endl;

// 16 24

cout << "Numero di elementi: ";

cout << sizeof a / sizeof(int) << '\t';

// 4

cout << sizeof b / sizeof(int) << endl;

// 6

// ERRORE! NON SEGNALATO IN COMPILAZIONE

// Nessun controllo sul valore degli indici

for (int i = 0; i < N; i++)

cout << a[i] << '\t';

cout << endl;

for (int i = 0; i < N; i++)

cout << b[i] << '\t';

cout << endl;

system("PAUSE");

return 0;

}

Dimensioni array: 16 24

Numero di elementi: 4 6

0 1 2 3 37879712 2009179755

0 1 2 3 0 0

Premere un tasto per continuare . . .

## 9.1 Tipi e oggetti array (IV)

// **ATTENZIONE:** il DEV-C++ NON SEGUE LO STANDARD  
// Per imporre il rispetto dello standard si deve usare  
// l'opzione -pedantic-errors.  
// L'opzione si può inserire selezionando dal menu'  
// Strumenti, la voce "Opzioni di Compilazione"

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int n = 2;
    int a[n];
    // ERRORE: numero degli elementi non costante

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Il compilatore usato senza l'opzione -pedantic-errors non segnala l'errore.  
Il codice scritto non è comunque portabile (un altro compilatore potrebbe non compilarlo).

282

## 9.1 Tipi e oggetti array (V)

```
// Operazioni sugli array. NON SONO PERMESSE
// OPERAZIONI ARITMETICHE, DI CONFRONTO, DI
// ASSEGNAMENTO
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    const int N = 5;
    int u[N] = {0, 1, 2, 3, 4}, v[N] = {5, 6, 7, 8, 9};
    // v = u;      ERRORE: assegnamento non permesso
    cout << "Ind. v:" << v << "\t Ind. u:" << u << endl;

    if (v == u)    // Attenzione confronta gli indirizzi
        cout << "Array uguali " << endl;
    else
        cout << "Array diversi " << endl;
    if (v > u) // operatori di confronto agiscono sugli indirizzi
        cout << "Indirizzo v > u " << endl;
    else
        cout << "Indirizzo v <= u " << endl;

    // v + u;      operatori aritmetici non definiti

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Ind. v:0x22ff18 Ind. u: 0x22ff38  
Array diversi  
Indirizzo v <= u  
Premere un tasto per continuare . . .

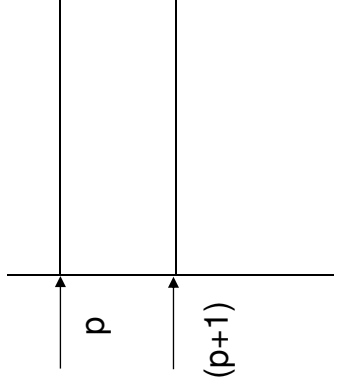
283

### 8.3.3 Array e puntatori (I)

#### // Aritmetica dei puntatori

Permette di calcolare indirizzi con la regola seguente:

- se l'espressione  $p$  rappresenta un valore indirizzo di un oggetto di tipo  $T$ , allora l'espressione  $(p+1)$  rappresenta l'indirizzo di un oggetto, sempre di tipo  $T$ , che si trova consecutivamente in memoria.



In generale:

- se  $i$  è un intero, allora l'espressione  $(p+i)$  rappresenta l'indirizzo di un oggetto, sempre di tipo  $T$ , che si trova in memoria, dopo  $i$  posizioni.

Nota:

- Se l'espressione  $p$  ha come valore *addr* e se  $T$  occupa  $n$  locazioni di memoria, l'espressione  $p+i$  ha come valore  $addr+n*i$ .

Aritmetica dei puntatori:

- si utilizza quando si hanno degli oggetti dello stesso tipo in posizioni adiacenti in memoria (array).

### 8.3.3 Array e puntatori (II)

#### // Aritmetica dei puntatori

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int v[4];
    int *p = v;
    // v <=> &v[0]

    *p = 1;
    *(p + 1) = 10;
    p += 3;
    *(p - 1) = 100;
    *p = 1000;
    p = v;
    cout << "v[" << 4 << "] = [" << *p;
    for (int i = 1; i < 4; i++)
        cout << 't' << *(p + i);    // v[4] = [1 10 100 1000]
    cout << ']' << endl;
    cout << p + 1 - p << endl;    // 1 aritmetica dei puntatori
    cout << int(p + 1) - int(p) << endl;    // 4 (byte)

    char c[5];
    char* q = c;
    cout << int(q + 1) - int(q) << endl;    // 1 (byte)

    int* p1 = &v[1];
    int* p2 = &v[2];
    cout << p2 - p1 << endl;
    cout << int(p2) - int(p1) << endl;    // 1 (elementi)
    // 4 (byte)
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```



### 8.3.3 Array e puntatori (III)

```
// Inizializza a 1
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    const int N = 5;
    int v[N];

    int *p = v;
    while (p <= &v[N-1])
        *p++ = 1;                // *(p++)

    p = v;
    cout << "v[" << N << "]" = [" << *p;
    for (int i = 1; i < N; i++)
        cout << 't' << *(p + i);
    cout << ']' << endl;        // v[5] = [1 1 1 1 1]

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

v[5] = [1 1 1 1 1]  
Premere un tasto per continuare ...

### 9.2 Array multidimensionali (I)

```
// Legge e scrive gli elementi di una matrice di R righe
// e C colonne
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int main ()
{
    const int R = 2;
    const int C = 3;
    int m[R][C];

    cout << "Inserisci gli elementi della matrice" << endl;
    for (int i = 0; i < R; i++)
        for (int j = 0; j < C; j++)
            cin >> m[i][j];

    int* p = &m[0][0];
    for (int i = 0; i < R; i++)
    {
        for (int j = 0; j < C; j++)
            cout << *(p + i*C + j) << 't';
        cout << endl;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

|     |   |         |
|-----|---|---------|
| 104 | 1 | m[0][0] |
| 108 | 2 | m[0][1] |
| 112 | 3 | m[0][2] |
| 116 | 4 | m[1][0] |
| 120 | 5 | m[1][1] |
| 124 | 6 | m[1][2] |

Inserisci gli elementi della matrice

1 2 3 4 5 6

1 2 3

4 5 6

Premere un tasto per continuare ...

## 9.2 Array multidimensionali (II)

```
// Inizializzazione di vettori multidimensionali

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int m1[2][3] = {1, 2, 3, 4, 5, 6}; // anche: int m1[][3]
    cout << "Matrice m1 " << endl;
    for (int i = 0; i < 2; i++)
    {
        for (int j = 0; j < 3; j++)
            cout << m1[i][j] << 't';
        cout << endl;
    }
    int m2[3][3] = {{0, 1, 2}, {10, 11}, {100, 101, 102}};
    // anche: int m2[][3]. N.B.: m2[1][2] inizializzato a 0
    cout << "Matrice m2 " << endl;
    for (int i = 0; i < 3; i++)
    {
        for (int j = 0; j < 3; j++)
            cout << m2[i][j] << 't';
        cout << endl;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Matrice m1
1  2  3
4  5  6
Matrice m2
0  1  2
10 11 0
100 101 102
Premere un tasto per continuare ...
```

288

## 9.4 Array come argomenti di funzioni (I)

```
// Somma gli elementi di un dato vettore di interi (i)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int somma(int v[4]) // La dimensione non ha significato
{
    // anche: (int v[])
    // X v[] <=> X *v
    int s = 0;
    for (int i = 0; i < 4; i++)
        s += v[i];
    return s;
}

int main ()
{
    int vett[] = {10, 11, 12, 13};
    cout << "La somma degli elementi e': "; // 46
    cout << somma(vett) << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

|     |     |                 |
|-----|-----|-----------------|
| 104 | 112 | $v = \&vett[0]$ |
| 108 | ... |                 |
| 112 | 10  | $vett[0]$       |
| 116 | 11  | $vett[1]$       |
| 120 | 12  | $vett[2]$       |
| 124 | 13  | $vett[3]$       |

289

## 9.4 Array come argomenti di funzioni (II)

```
// Somma gli elementi di un dato vettore di interi (ii)
// (ERRATO)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int somma(int v[])
{
    int s = 0;
    int n = sizeof v / sizeof(int);           // 1
    for (int i = 0; i < n; i++)
        s += v[i];
    return s;
}

int main ()
{
    int vett[] = {10, 11, 12, 13};
    cout << "La somma degli elementi e': ";
    cout << somma(vett) << endl;           // 10
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

La somma degli elementi e':10  
Premere un tasto per continuare ...

## 9.4 Array come argomenti di funzioni (III)

```
// Somma gli elementi di un dato vettore di interi (iii)

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int somma(int v[], int n)    // Dimensione come argomento
{
    int s = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++)
        s += v[i];
    return s;
}

int main ()
{
    int vett[] = {10, 11, 12, 13};
    cout << "La somma degli elementi e': ";
    cout << somma(vett, sizeof vett / sizeof(int)) << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

La somma degli elementi e': 46  
Premere un tasto per continuare ...

## 9.4 Array come argomenti di funzioni (IV)

// Incrementa gli elementi di un dato vettore di interi (i)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void stampa(int v[], int n)
{
    if (n > 0)
    {
        cout << '[' << v[0];
        for (int i = 1; i < n; i++)
            cout << ' ' << v[i];
        cout << ']' << endl;
    }
}

void incrementa(int v[], int n)
{
    for (int i = 0; i < n; i++)
        v[i]++;
}

int main ()
{
    int vett[] = {10, 11, 12, 13};
    stampa(vett, 4);
    incrementa(vett, 4);
    stampa(vett, 4);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

[10 11 12 13]  
[11 12 13 14]

Premere un tasto per continuare ...

292

## 9.4 Argomenti array costanti (I)

// Somma gli elementi di un dato vettore di interi (iv)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int somma(const int v[], int n) // gli elementi dell'array
                                // non possono essere
                                // modificati
{
    int s = 0;
    for (int i = 0; i < n; i++)
        s += v[i];
    return s;
}

int main ()
{
    int vett[] = {10, 11, 12, 13};
    cout << "La somma degli elementi e': ";
    cout << somma(vett, sizeof vett / sizeof(int)) << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

La somma degli elementi e': 46  
Premere un tasto per continuare ...

293

## 9.4 Argomenti array costanti (II)

```
// Incrementa gli elementi di un dato vettore di interi (ii)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void stampa(const int v[], int n)           // OK!!!
{
    if (n > 0)
    {
        cout << "[" << v[0];
        for (int i = 1; i < n; i++)
            cout << ' ' << v[i];
        cout << "]" << endl;
    }
}

void incrementa(const int v[], int n)       // ERRORE
{
    for (int i = 0; i < n; i++)
        v[i]++;
}

int main ()
{
    int vett[] = {10, 11, 12, 13};
    stampa(vett, 4);
    incrementa(vett, 4);
    stampa(vett, 4);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

294

## 9.5.3 Argomenti array costanti (III)

```
// Trova il massimo valore in un dato vettore di interi
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void leggi(int v[], int n)
{
    for (int i = 0; i < n; i++)
        { cout << "[" << i << "]" = ";   cin >> v[i]; }
}

int massimo(const int v[], int n)
{
    int m = v[0];
    for (int i = 1; i < n; i++)
        m = m >= v[i] ? m : v[i];
    return m;
}

int main ()
{
    const int MAX = 10; int v[MAX], nElem;
    cout << "Quanti elementi? ";
    cin >> nElem;
    leggi(v, nElem);
    cout << "Massimo: " << massimo(v, nElem) << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Quanti elementi? 2

[0] = 13

[1] = 45

Massimo: 45

Premere un tasto per continuare . . .

295

### 9.5.3 Array multidimensionali (I)

// La dichiarazione di un vettore a piu' dimensioni come  
// argomento formale deve specificare la grandezza di  
// tutte le dimensioni tranne la prima.  
// Se M e' il numero delle dimensioni, l'argomento  
// formale e' un puntatore ad array M-1 dimensionali

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
const int C = 3;
```

```
void inizializza(int m[][C], int r)
```

```
{
    for (int i = 0; i < r; i++)
        for (int j = 0; j < C; j++)
            m[i][j] = i + j;
}
```

```
void dim(const int m[][C])
```

```
{
    cout << "Dimensione (ERRATA) ";
    cout << sizeof m / sizeof(int) << endl;
}
```

```
// void riempiErrata(int m[][]);
```

ERRORE!

### 9.5.3 Array multidimensionali (II)

```
void stampa(const int m[][C], int r)
{
    for (int i = 0; i < r; i++)
    {
        for (int j = 0; j < C; j++)
            cout << m[i][j] << 't';
        cout << endl;
    }
}
```

```
int main ()
```

```
{
    int mat1[2][C], mat2[2][5];
    inizializza(mat1, 2);
    dim(mat1);
    stampa(mat1, 2);
    // inizializza(mat2, 2);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

ERRORE: tipo arg. diverso

```
Dimensione (ERRATA) 1
0 1 2
1 2 3
Premere un tasto per continuare ...
```

### 9.5.3 Array multidimensionali (III)

```
// Trasmissione mediante puntatori
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

void inizializza(int* m, int r, int c)
{
    for (int i = 0; i < r; i++)
        for (int j = 0; j < c; j++)
            *(m + i * c + j) = i + j;
}

void stampa(const int* m, int r, int c)
{
    for (int i = 0; i < r; i++)
    {
        for (int j = 0; j < c; j++)
            cout << *(m + i * c + j) << 't';
        cout << endl;
    }
}

int main ()
{
    int mat1[2][3], mat2[2][6];
    // inizializza(mat1, 2, 3); ERRORE passing 'int (*)[3]' as
    // argument 1 of 'inizializza(int *, int, int)'
    //
    // inizializza(&mat1[0][0], 2, 3);
    stampa((int*) mat1, 2, 3);
    inizializza((int*) mat2, 2, 6);
    stampa(&mat2[0][0], 2, 6);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

298

### 9.3 Stringhe (I)

Stringa:

- Sequenza di caratteri.

In C++ non esiste il tipo stringa. Variabili stringa:

- array di caratteri, che memorizzano stringhe (un carattere per elemento) e il carattere nullo ('\0') finale.

// Lunghezza ed inizializzazione di stringhe

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
#include <cstring>
using namespace std;
int main ()
```

```
{
    char c1[] = "C++";           // inizializzazione
    cout << sizeof c1 << endl;   // 4
    cout << strlen(c1) << endl;  // 3

    char c2[] = {'C', '+', '+'}; // Manca il '\0!'
    cout << sizeof c2 << endl;   // 3

    char c3[] = {'C', '+', '+', '\0'}; // OK
    cout << sizeof c3 << endl;    // 4

    char c4[4];
    // c4 = "C++"; ERRORE! Assegnamento tra array
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

4 3 3 4

Premere un tasto per continuare . . .

299

## 9.3 Stringhe (II)

### Operatori di ingresso e di uscita:

- accettano una variabile stringa come argomento.
- ### Operatore di ingresso:
- legge caratteri dallo stream di ingresso (saltando eventuali caratteri bianchi di testa) e li memorizza in sequenza, fino a che incontra un carattere spazio: un tale carattere (che non viene letto) causa il termine dell'operazione e la memorizzazione nella variabile stringa del carattere nullo dopo l'ultimo carattere letto;
  - l'array che riceve i caratteri deve essere dimensionato adeguatamente.

### Operatore di uscita:

- scrive i caratteri della stringa (escluso il carattere nullo finale) sullo stream di uscita.

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    char stringa[12];    // al più 11 caratteri oltre a '\0'
    cout << "? ";
    cin >> stringa;      // Esempio: Informatica e Calcolatori
                        // Attenzione nessun controllo sulla dimensione
    cout << stringa << endl;    // Esempio: Informatica
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

? Informatica e Calcolatori  
Informatica  
Premere un tasto per continuare . . .

300

## 9.3 Stringhe (III)

### // Stringhe e puntatori

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    char s1[] = "Universita' ";
    char s2[] = {'d','i',' ','\0'};
    char *s3 = "Pisa";
    char *s4 = "Toscana";

    cout << s1 << s2 << s3 << s4 << endl;
    // puntatori a caratteri interpretati come stringhe
    s4 = s3;

    cout << s3 << endl;
    cout << s4 << endl;

    char *const s5 = "oggi";
    char *const s6 = "domani";

    // s6 = s5;          ERRORE!

    cout << (void *)s3 << endl;    // Per stampare il puntatore
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Universita' di Pisa Toscana  
Pisa  
Pisa  
0x40121d  
Premere un tasto per continuare . . .

301



## 9.3 Stringhe (IV)

```
// Conta le occorrenze di ciascuna lettera in una stringa
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    const int LETTERE = 26;
    char str[100];
    int conta[LETTERE];
    for (int i = 0; i < LETTERE; i++)
        conta[i] = 0;
    cout << "Inserisci una stringa: ";
    cin >> str;

    for (int i = 0; str[i] != '\0'; i++)
        if (str[i] >= 'a' && str[i] <= 'z')
            ++conta[str[i] - 'a'];
        else if (str[i] >= 'A' && str[i] <= 'Z')
            ++conta[str[i] - 'A'];

    for (int i = 0; i < LETTERE; i++)
        cout << char('a' + i) << ": " << conta[i] << '\t';
    cout << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
Inserisci una stringa: prova
a: 1  b: 0  c: 0  d: 0  e: 0  f: 0  g: 0  h: 0  i: 0  j: 0
k: 0  l: 0  m: 0  n: 0  o: 1  p: 1  q: 0  r: 1  s: 0  t: 0
u: 0  v: 1  w: 0  x: 0  y: 0  z: 0
Premere un tasto per continuare ...
```

## 9.6 Funzioni di libreria sulle stringhe (I)

Dichiarazioni contenute nel file <cstring>

`char *strcpy(char *dest, const char *sorg);`

Copia *sorg* in *dest*, incluso il carattere nullo (terminatore di stringa), e restituisce *dest*;

**ATTENZIONE:** non viene effettuato nessun controllo per verificare se la dimensione di *dest* è sufficiente per contenere *sorg*.

`char *strcat(char *dest, const char *sorg);`

Concatena *sorg* al termine di *dest* e restituisce *dest* (il carattere nullo compare solo alla fine della stringa risultante);

**ATTENZIONE:** non viene effettuato nessun controllo per verificare se la dimensione di *dest* è sufficiente per contenere la concatenazione di *sorg* e *dest*.

**ATTENZIONE:** sia *sorg* che *dest* devono essere delle stringhe.

## 9.6 Funzioni di libreria sulle stringhe (II)

### **int strlen(const char \*string);**

Restituisce la lunghezza di *string*; il valore restituito è inferiore di 1 al numero di caratteri effettivi, perché il carattere nullo che termina *string* non viene contato.

### **int strcmp(const char \*s1, const char \*s2);**

Confronta *s1* con *s2*:

- restituisce un valore negativo se *s1* è alfabeticamente minore di *s2*;
- un valore nullo se le due stringhe sono uguali,
- un valore positivo se *s1* è alfabeticamente maggiore di *s2*; (la funzione distingue tra *maiuscole* e *minuscole*).

### **char \*strchr(const char \*string, char c);**

Restituisce il puntatore alla prima occorrenza di *c* in *string* oppure 0 se *c* non si trova in *string*.

## 9.6 Funzioni di libreria sulle stringhe (III)

### **// ESEMPIO**

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
#include <cstring>
using namespace std;
int main ()
{
    const int N = 30;
    char s1[] = "Corso ";
    char s2[] = "di ";
    char s3[] = "Informatica\n";
    char s4[N] = "Corso ";

    cout << "Dimensione degli array s1 e s4 " << endl;
    cout << sizeof s1 << " " << sizeof s4 << endl;

    cout << "Dimensione delle stringhe s1 e s4 " << endl;
    cout << strlen(s1) << " " << strlen(s4) << endl;
    if (!strcmp(s1,s4)) cout << "Stringhe uguali " << endl;
    else cout << "Stringhe diverse " << endl;

    if (!strcmp(s1,s2)) cout << "Stringhe uguali " << endl;
    else cout << "Stringhe diverse " << endl << endl;

    char s5[N];
    strcpy(s5,s1);
    strcat(s5,s2);
    strcat(s5,s3);
```

## 9.6 Funzioni di libreria sulle stringhe (IV)

```
cout << "Concatenazione di s1, s2 e s3 " << endl;  
cout << s5 << endl;  
char *s=strchr(s5,'I');  
cout << "Stringa dalla prima istanza di I " << endl;  
cout << s << endl;  
system("PAUSE");  
return 0;  
}
```

Dimensione degli array s1 e s4

7 30

Dimensione delle stringhe s1 e s4

6 6

Stringhe uguali

Stringhe diverse

Concatenazione di s1, s2 e s3

Corso di Informatica

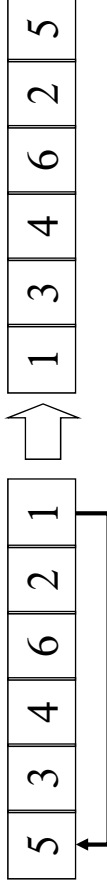
Stringa dalla prima istanza di I  
Informatica

Premere un tasto per continuare . . .

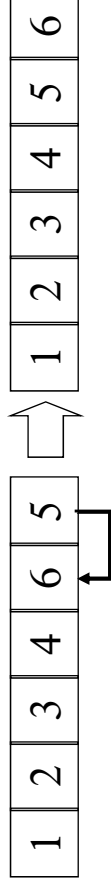
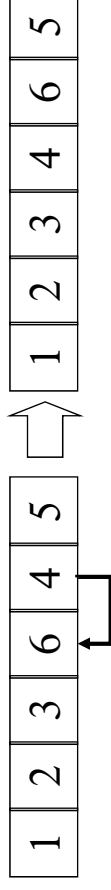
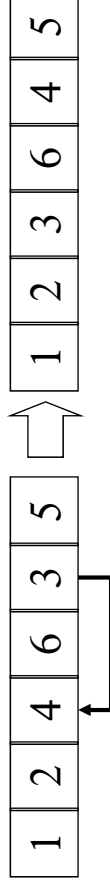
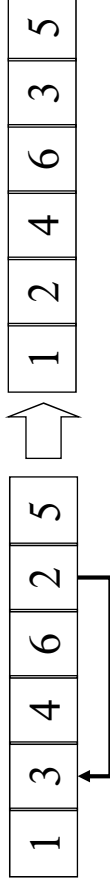
## 9.7 Ordinamento dei vettori

### Ordinamento per selezione (selection-sort)

- Si cerca l'elemento più piccolo e si scambia con l'elemento in posizione  $i = 0$



- Si cerca l'elemento più piccolo tra i rimanenti  $N-i$  e si scambia con l'elemento in posizione  $i$ , per  $i = 1..N-1$



## 9.7 Ordinamento dei vettori (selection-sort)

### Ordinamento per selezione (selection-sort)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
typedef int T; // introduce identificatori per individuare tipi

void stampa(const T v[], int n)
{
    if (n != 0)
    {
        cout << "[" << v[0];
        for (int i = 1; i < n; i++)
            cout << ', ' << v[i];
        cout << ']' << endl;
    }
}

void scambia(T vettore[], int x, int y)
{
    T lavoro = vettore[x];
    vettore[x] = vettore[y];
    vettore[y] = lavoro;
}
```

## 9.7 Ordinamento dei vettori (selection-sort)

### Ordinamento per selezione (selection-sort)

```
void selectionSort(T vettore[], int n)
{
    int min;
    for (int i = 0 ; i < n-1; i++)
    {
        min = i;
        for (int j = i + 1; j < n; j++)
            if (vettore[j] < vettore[min]) min = j;
        scambia(vettore,i,min);
    }
}

int main()
{
    T v[] = {2, 26, 8, 2, 23};
    selectionSort(v, 5);
    stampa(v, 5);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

[2 2 8 23 26]

Premere un tasto per continuare . . .

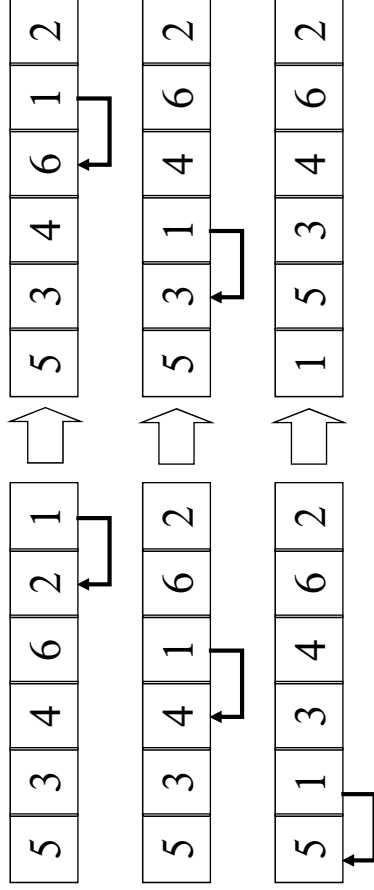
- Complessità dell'algoritmo dell'ordine di  $n^2$ , dove  $n$  è il numero di elementi nel vettore.

## 9.7 Ordinamento dei vettori (bubble-sort)

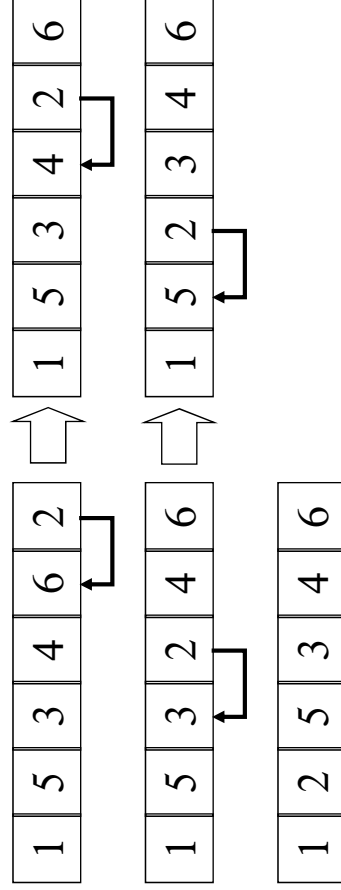
### Ordinamento bubble-sort

- Si scorre l'array n-1 volte, dove n è il numero di elementi nell'array, da destra a sinistra, scambiando due elementi contigui se non sono nell'ordine giusto.

#### • Prima volta



#### • Seconda volta

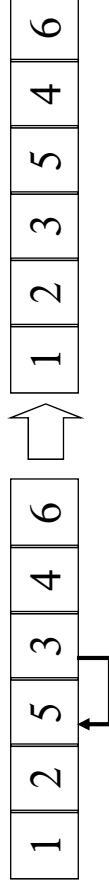


N.B.: i primi due elementi risultano ordinati

## 9.7 Ordinamento dei vettori (bubble-sort)

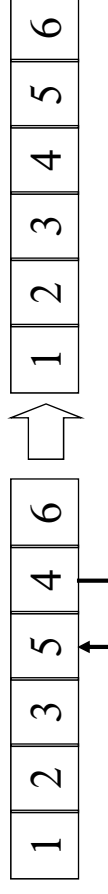
### Ordinamento bubble-sort

#### • Terza volta



N.B.: i primi tre elementi risultano ordinati

#### • Quarta volta



N.B.: i primi quattro elementi risultano ordinati

#### • Quinta volta

- Nessun cambiamento

```
void bubble(T vettore[], int n)
{
    for (int i = 0 ; i < n-1; i++)
        for (int j = n-1; j > i; j--)
            if (vettore[j] < vettore[j-1])
                scambia(vettore, j, j-1);
}
```

- Complessità dell'algoritmo dell'ordine di  $n^2$ , dove n è il numero di elementi nel vettore.

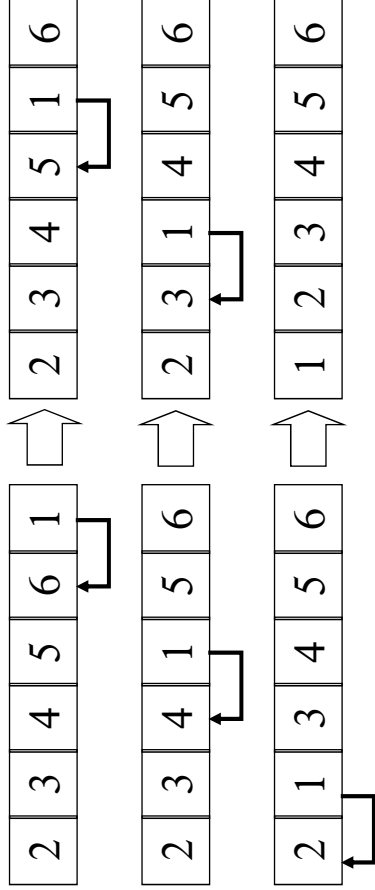
## 9.7 Ordinamento dei vettori (bubble-sort)

### Ordinamento bubble-sort ottimizzato

Supponiamo che il vettore sia

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

- **Prima volta**



- Il vettore dopo il primo passo risulta ordinato.
- Inutile eseguire tutti i passi.

## 9.7 Ordinamento dei vettori (bubble-sort)

### Ordinamento bubble-sort ottimizzato

```
void bubble(T vettore[], int n)
{
    bool ordinato = false;
    for (int i = 0 ; i < n-1 && !ordinato; i++)
    {
        ordinato = true;
        for (int j = n-1; j >= i+1; j--)
            if(vettore[j] < vettore[j-1])
            {
                scambia(vettore, j, j-1);
                ordinato = false;
            }
    }
}

int main()
{
    T v[] = {2, 1, 3, 4, 5};
    bubble(v, 5);
    stampa(v, 5);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

[1 2 3 4 5]  
Premere un tasto per continuare . . .

- L'algoritmo ottimizzato esegue due sole iterazioni invece delle quattro dell'algoritmo non ottimizzato

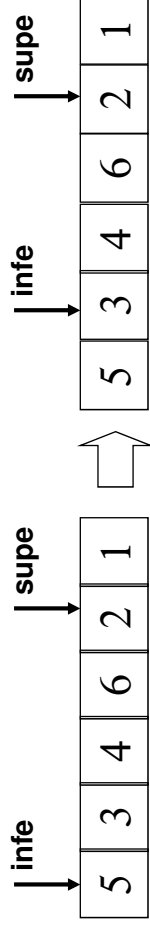
## 9.7 Ricerca lineare (I)

### Problema

- cercare un elemento in un array tra l'elemento in posizione *infe* e quello in posizione *supe*.

### Possibile soluzione

- Scorrere il vettore in sequenza a partire dall'elemento in posizione *infe* fino all'elemento cercato oppure all'elemento in posizione *supe*.



```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
typedef int T;
```

```
bool ricerca(T vett[], int infe, int supe, T k, int &pos)
{
    bool trovato = false;
    while (!trovato) && (infe <= supe)
    {
        if (vett[infe] == k)
        {
            pos = infe;
            trovato = true;
        }
        infe++;
    }
    return trovato;
}
```

## 9.7 Ricerca lineare (II)

```
int main()
{
    T v[] = {1, 2, 3, 4, 5};
    int i;
    if (!ricerca(v, 0, 4, 5, i))
        cerr << "Elemento cercato non presente " << endl;
    else
        cout << "Posizione elemento cercato " << i << endl;
    if (!ricerca(v, 0, 4, 10, i))
        cerr << "Elemento cercato non presente " << endl;
    else
        cout << "Posizione elemento cercato " << i << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Posizione elemento cercato 4  
Elemento cercato non presente  
Premere un tasto per continuare . . .

N.B: Per la ricerca dell'elemento 5 è necessario esaminare 5 elementi.

## 9.7 Ricerca binaria (I)

### PREREQUISITO: Vettori ordinati!!!!

Ricerca binaria (vettori ordinati in ordine crescente)

Idea:

- Si confronta l'elemento cercato con l'elemento in posizione centrale; se sono uguali la ricerca termina;
- altrimenti:
  - se l'elemento cercato è minore dell'elemento in posizione centrale la ricerca prosegue nella prima metà del vettore; altrimenti prosegue nella seconda metà del vettore.

```
bool ricbin(T ordVett[], int infe, int supe, T k, int &pos)
{
    while (infe <= supe)
    {
        int medio = (infe + supe) / 2; // calcola l'indice centrale
        if (k > ordVett[medio])
            infe = medio + 1; // ricerca nella meta' superiore
        else
            if (k < ordVett[medio])
                supe = medio - 1; // ricerca nella meta' superiore
            else
            {
                pos = medio; // trovato
                return true;
            }
        return false;
    }
    return false;
}
```

N.B: Per la ricerca dell'elemento 5, esempio precedente, è necessario esaminare 3 elementi solamente.

## 9.7 Ricerca binaria (II)

Esempio: ricerca in un vettore di caratteri

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
typedef char T;

bool ricbin(T ordVett[], int infe, int supe, T k, int &pos)
{
    while (infe <= supe)
    {
        int medio = (infe + supe) / 2; //calcola l'indice centrale
        if (k > ordVett[medio])
            infe = medio + 1; // ricerca nella meta' superiore
        else
            if (k < ordVett[medio])
                supe = medio - 1; // ricerca nella meta' superiore
            else
            {
                pos = medio; // trovato
                return true;
            }
        return false;
    }

    int main()
    {
        T v[] = {'a', 'b', 'c', 'r', 's', 't'}; // individua la posizione
        int i;
        if (!ricbin(v, 0, 5, 'c', i))
            cerr << "Elemento cercato non presente " << endl;
        else
            cout << "Posizione elemento cercato " << i << endl;
        system("PAUSE");
        return 0;
    }
}
```



## 9.7 Esempio (I)

Esempio: ordinamento e ricerca in un vettore di stringhe

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
const int C=20;
typedef char T[C];

void scambia(T vettore[], int x, int y)
{
    T lavoro;
    strcpy(lavoro, vettore[x]);
    strcpy(vettore[x], vettore[y]);
    strcpy(vettore[y], lavoro);
}

void stampa(const T vettore[], int n)
{
    if (n != 0)
    {
        cout << 'I' << vettore[0];
        for (int i = 1; i < n; i++)
            cout << ', ' << vettore[i];
        cout << 'I' << endl;
    }
}
```

318

## 9.7 Esempio (II)

```
void bubble(T vettore[], int n)
{
    bool ordinato = false;
    for (int i = 0 ; i < n-1 && !ordinato; i++)
    {
        ordinato = true;
        for (int j = n-1; j >= i+1; j--)
            if(strcmp(vettore[j], vettore[j-1])<0)
            {
                scambia(vettore, j, j-1);
                ordinato = false;
            }
    }
}

bool ricbin(T ordVett[], int infe, int supe, T k, int &pos)
{
    while (infe <= supe)
    {
        int medio = (infe + supe) / 2;
        if (strcmp(k, ordVett[medio])>0)
            infe = medio + 1;
        else
            if (strcmp(k, ordVett[medio])<0)
                supe = medio - 1;
            else
            {
                pos = medio;
                return true;
            }
    }
    return false;
}
```

319

## 9.7 Esempio (III)

```
int main ()
{
    T s[4];
    for (int i=0; i<4; i++)
    {
        cout << '?' << endl;  cin >> s[i];  }
    stampa(s,4);
    bubble(s,4);
    stampa(s,4);
    int i; T m;
    cout << "Ricerca ?" << endl;
    cin >> m;
    if (ricbin(s,0,4,m,i))
        cout << "Trovato in posizione " << i << endl;
    else cout << "Non trovato" << endl;
    cout << "Ricerca ?" << endl;
    cin >> m;
    if (ricbin(s,0,4,m,i))
        cout << "Trovato in posizione " << i << endl;
    else cout << "Non trovato" << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
?
mucca
?
anatra
?
zebra
?
cavallo
[mucca anatra zebra cavallo]
[anatra cavallo mucca zebra]
Ricerca ?
cavallo
Trovato in posizione 1
Ricerca ?
bue
Non trovato
Press any key to continue . . .
```

320

## 10.1 Strutture (I)

### Struttura:

- n-upla ordinata di elementi, detti membri (o campi), ciascuno dei quali ha uno specifico tipo ed uno specifico nome, e contiene una data informazione;
- rappresenta una collezione di informazioni su un dato oggetto.

### *basic-structure-type-declaration*

*structure-typespecifier* ;

### *structure-typespecifier*

struct identifier<sub>opt</sub> { *structure-member-section-seq* }

### Sezione:

- membri di un certo tipo, ciascuno destinato a contenere un dato (campi dati);
- forma sintatticamente equivalente alla definizione di oggetti non costanti e non inizializzati.

### Esempio:

```
struct persona
{
    char nome[20];
    char cognome[20];
    int g_nascita, m_nascita, a_nascita;
};
```

321

## 10.1 Strutture (II)

```
// Punto
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

struct punto
{
    double x;
    double y;
};

int main ()
{
    punto r, s;
    r.x = 3;
    r.y = 10.5;
    s.x = r.x;
    s.y = r.y + 10.0;
    // selettore di membro

    cout << 'x' << r.x << ", " << r.y << ">\n";
    cout << 'y' << r.x << ", " << s.y << ">\n";

    punto *p = &r;
    cout << 'x' << p->x << ", " << (*p).x
    cout << p->y << ">\n";
    // (*p).y

    punto t = {1.0, 2.0};
    cout << 'x' << t.x << ", " << t.y << ">\n";
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
<3, 10.5>
<3, 20.5>
<3, 10.5>
<1, 2>
```

Premere un tasto per continuare ...

322

## 10.1 Strutture (III)

```
struct punto
{
    /* ... */
    punto s;
};
// ERRORE!

//~~~~~
// Struttura contenente un riferimento a se stessa

struct punto {
    /* ... */
    punto * p;
};
// OK

//~~~~~
// Strutture con riferimenti intrecciati.
// Dichiarazioni incomplete

struct Parte;

struct Componente {
    /* ... */
    Parte* p;
};

struct Parte {
    /* ... */
    Componente* c;
};
```

323

## 10.1 Strutture (IV)

```
// Array di strutture
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

struct punto
{ double x; double y;};
const int MAX = 30;

int main ()
{
    struct poligono
    {
        int quanti;
        punto p[MAX];
    } p;

    p.quanti = 3;
    p.p[0].x = 3.0;
    p.p[0].y = 1.0;
    p.p[1].x = 4.0;
    p.p[1].y = 10.0;
    p.p[2].x = 3.0;
    p.p[2].y = 100.0;

    cout << "Stampa del poligono " << endl;
    for (int i = 0; i < p.quanti; i++)
        cout << ' ' << p.p[i].x << ", " << p.p[i].y << ">\n";

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Stampa del poligono  
<3, 1>  
<4, 10>  
<3, 100>  
Premere un tasto per continuare . .

324

## 10.1.1 Operazioni sulle strutture (I)

```
// Assegnamento tra strutture
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

struct punto
{
    double x;
    double y;
};

int main ()
{
    punto r1 = {3.0, 10.0}; // inizializzazione
    punto r2;

    r2 = r1; // copia membro a membro

    cout << "r1 = <" << r1.x << ", " << r1.y << ">\n";
    // <3, 10>
    cout << "r2 = <" << r2.x << ", " << r2.y << ">\n";
    // <3, 10>

    // if (r2 != r1) ERRORE

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

r1 = <3, 10>  
r2 = <3, 10>  
Premere un tasto per continuare . .

**N.B.:** Non sono definite operazioni di confronto sulle strutture.

325

### 10.1.1 Operazioni sulle strutture (II)

```
// Strutture come argomenti di funzioni e restituite da
// funzioni
#include <cstdlib>
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;
struct punto
{ double x; double y; };
void test(punto p)
{
    cout << "Dimensione argomento " << sizeof p << endl;
}
void test(const punto* p) // Overloading
{
    cout << "Dimensione argomento " << sizeof p << endl;
}
double dist(const punto* p1, const punto* p2)
{
    return sqrt((p1->x - p2->x) * (p1->x - p2->x) +
                (p1->y - p2->y) * (p1->y - p2->y));
}
punto vicino(punto ins[], int n, const punto* p)
{
    double min = dist(&ins[0], p), t;
    int index = 0;
    for (int i = 1; i < n; i++)
    {
        t = dist(&ins[i], p);
        if (min > t)
        { index = i; min = t; };
    }
    return ins[index];
}
```

326

### 10.1.1 Operazioni sulle strutture (III)

```
// Strutture come argomenti di funzioni e restituite da
// funzioni
int main ()
{
    punto ins[] = {{3.0, 10.0}, {2.0, 9.0}, {1.0, 1.0}};
    punto r = {3.5, 10.0};
    test(r); // 16
    test(&r); // 4
    cout << "Distanza: " << dist(&r, &ins[0]) << endl;
    punto s = vicino(ins, sizeof ins/sizeof(punto), &r);
    cout << "Punto piu' vicino: ";
    cout << 'x' << s.x << ", " << s.y << ">\n";
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Dimensione argomento 16  
Dimensione argomento 4  
Distanza: 0.5  
Punto piu' vicino: <3, 10>  
Premere un tasto per continuare . . .

327

### 10.1.1 Operazioni sulle strutture (IV)

```
// Copia di vettori
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
const int N = 3;
struct vettore
{ int vv[N]; };

void stampa(const vettore& v, int n)
{
    cout << '[' << v.vv[0];
    for (int i = 1; i < n; i++)
        cout << ',' << v.vv[i];
    cout << ']' << endl;
}

int main ()
{
    vettore v1 = {1, 2, 3}, v2;
    v2 = v1;
    cout << "Stampa del vettore v1 " << endl;
    stampa(v1, N);
    cout << "Stampa del vettore v2 " << endl;
    stampa(v2, N);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Stampa del vettore v1  
[1 2 3]  
Stampa del vettore v2  
[1 2 3]  
Premere un tasto per continuare . . .

328

### 10.1.1 Operazioni sulle strutture (V)

```
// Trasmissione di vettori per valore
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
const int N = 3;
struct vettore
{ int vv[N]; };

void stampa(const vettore& v, int n)
{
    cout << '[' << v.vv[0];
    for (int i = 1; i < n; i++)
        cout << ',' << v.vv[i];
    cout << ']' << endl;
}

void incrementa(vettore v, int n)
{
    for (int i = 0; i < n; i++) v.vv[i]++;
}

int main ()
{
    vettore v1 = {1, 2, 3};
    cout << "Stampa del vettore v1 " << endl;
    stampa(v1, N);
    incrementa(v1, N);
    cout << "Stampa del vettore v1 " << endl;
    stampa(v1, N);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Stampa del vettore v1  
[1 2 3]  
Stampa del vettore v2  
[1 2 3]  
Premere un tasto per continuare . . .

329

## 10.2 Unioni (I)

Sono dichiarate e usate con la stessa sintassi delle strutture:

- si utilizza la parola chiave *union* al posto di *struct*.

Rappresentano un'area di memoria che in tempi diversi

può contenere dati di tipo differente:

- i membri di un'unione corrispondono a diverse "interpretazioni" di un'unica area di memoria.

Membri di una unione non della stessa dimensione:

- viene riservato spazio per il più grande.

Esempio:

```
struct { int i; double d; } x;  
union { int i; double d; } y;
```

- la struttura *x* occupa 96 bit di memoria (32 per *i* e 64 per *d*);
- l'unione *y* occupa 64 bit di memoria, che possono essere dedicati ad un valore intero (lasciandone 32 inutilizzati) o ad un valore reale.

Operazioni:

- quelle viste per le strutture.

Valori iniziali delle unioni:

- solo per il primo membro;
- esempio:  
union {char c; int i; double f; } a = { 'X' };

## 10.2 Unioni (II)

```
#include <cstdlib>  
#include <iostream>  
using namespace std;
```

```
union Uni  
{ char c; int i; };
```

```
struct Str  
{ char c; int i; };
```

```
int main()
```

```
{  
    cout << sizeof(char) << '\t' << sizeof(int) << endl;  
    // 1 4
```

```
    cout << sizeof(Uni) << '\t' << sizeof(Str) << endl;  
    // 4 8
```

```
    Uni u = {'a'};
```

```
    // Uni u1 = {'a', 10000};
```

ERRATO

```
    u.i = 0xFF7A;           // 7A e' la codifica ASCII di z  
    cout << u.c << '\t' << u.i << endl;  
    // z 65402
```

```
    Str s = {'a', 0xFF7A};
```

```
    cout << s.c << '\t' << s.i << endl;  
    system("PAUSE");  
    return 0;
```

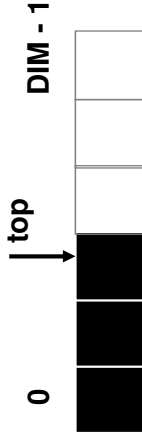
```
}
```

```
1 4  
4 8  
z 65402  
a 65402
```

Premere un tasto per continuare . . .

### 10.3.1 Pila (I)

- Insieme ordinato di dati di tipo uguale, in cui è possibile effettuare operazioni di inserimento e di estrazione secondo la seguente regola di accesso: l'ultimo dato inserito è il primo ad essere estratto (LIFO: Last In First Out).



- Se  $\text{top} == -1$ , la pila è vuota. Se  $\text{top} == \text{DIM} - 1$ , dove DIM è il numero massimo di elementi nella pila, la pila è piena.

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
typedef int T;
const int DIM = 5;

struct pila
{
    int top;
    T stack[DIM];
};

//inizializzazione della pila
void inip(pila& pp)
{
    pp.top = -1;
}
```

### 10.3.1 Pila (II)

```
bool empty(const pila& pp)    // pila vuota?
{
    if (pp.top == -1) return true;
    return false;
}

bool full(const pila& pp)    // pila piena?
{
    if (pp.top == DIM - 1) return true;
    return false;
}

bool push(pila& pp, T s)    // inserisce un elemento in pila
{
    if (full(pp)) return false;
    pp.stack[++(pp.top)] = s;
    return true;
}

bool pop(pila& pp, T& s)    // estrae un elemento dalla pila
{
    if (empty(pp)) return false;
    s = pp.stack[(pp.top)--];
    return true;
}

void stampa(const pila& pp)    // stampa gli elementi
{
    cout << "Elementi contenuti nella pila: " << endl;
    for (int i = pp.top; i >= 0; i--)
        cout << '[' << i << "]" << pp.stack[i] << endl;
}
```



### 10.3.1 Pila (III)

```
int main()
{
    pila st;
    inip(st);
    T num;
    if (empty(st)) cout << "Pila vuota" << endl;
    for (int i = 0; i < DIM; i++)
        if (push(st,DIM - i))
            cout << "Inserito " << DIM - i <<
                " . Valore di top: " << st.top << endl;
        else cerr << "Inserimento di " << i << " fallito" << endl;
    if (full(st)) cout << "Pila piena" << endl;
    stampa(st);
    for (int i = 0; i < DIM - 2; i++)
        if (pop(st, num))
            cout << "Estratto " << num << " . Valore di top: "
                << st.top << endl;
        else cerr << "Estrazione fallita" << endl;
    for (int i = 0; i < DIM; i++)
        if (push(st, i))
            cout << "Inserito " << i << " . Valore di top: "
                << st.top << endl;
        else cerr << "Inserimento di " << i << " fallito" << endl;
    stampa(st);
    for (int i = 0; i < 2; i++)
        if (pop(st, num))
            cout << "Estratto " << num << " . Valore di top: "
                << st.top << endl;
        else cerr << "Estrazione fallita" << endl;
    stampa(st);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

334

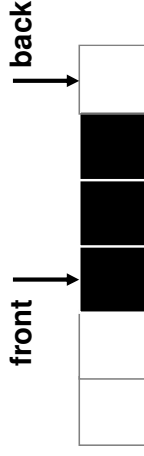
### 10.3.1 Pila (IV)

**Pila vuota**  
 Inserito 5. Valore di top: 0  
 Inserito 4. Valore di top: 1  
 Inserito 3. Valore di top: 2  
 Inserito 2. Valore di top: 3  
 Inserito 1. Valore di top: 4  
**Pila piena**  
 Elementi contenuti nella pila:  
 [4] 1  
 [3] 2  
 [2] 3  
 [1] 4  
 [0] 5  
**Estratto 1. Valore di top: 3**  
**Estratto 2. Valore di top: 2**  
**Estratto 3. Valore di top: 1**  
 Inserito 0. Valore di top: 2  
 Inserito 1. Valore di top: 3  
 Inserito 2. Valore di top: 4  
 Inserimento di 3 fallito  
 Inserimento di 4 fallito  
 Elementi contenuti nella pila:  
 [4] 2  
 [3] 1  
 [2] 0  
 [1] 4  
 [0] 5  
**Estratto 2. Valore di top: 3**  
**Estratto 1. Valore di top: 2**  
 Elementi contenuti nella pila:  
 [2] 0  
 [1] 4  
 [0] 5  
 Premere un tasto per continuare . . .

335

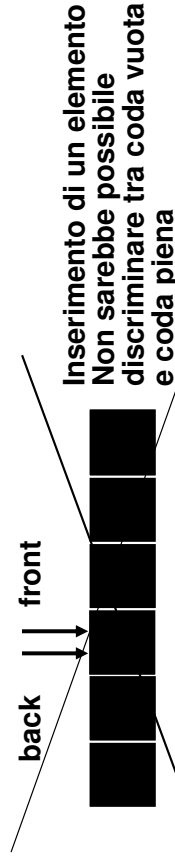
## 10.3.2 Coda (I)

- Insieme ordinato di dati di tipo uguale, in cui è possibile effettuare operazioni di inserimento e di estrazione secondo la seguente regola di accesso: il primo dato inserito è il primo ad essere estratto (FIFO: First In First Out).



- Realizzata con un array circolare e due puntatori:

- front – posizione da cui avviene l'estrazione;
- back – posizione in cui avviene l'inserimento.



- front == back                      coda vuota
- front == (back + 1) % DIM      coda piena
- (ATTENZIONE al massimo DIM - 1 elementi)

## 10.3.2 Coda (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

typedef int T;
const int DIM = 5;

struct coda
{
    int front, back;
    T queue[DIM];
};

void inic(coda& cc)           // inizializzazione della coda
{
    cc.front = cc.back = 0;
}

bool empty(const coda& cc)     // coda vuota?
{
    if (cc.front == cc.back) return true;
    return false;
}

bool full(const coda& cc)       // coda piena?
{
    if (cc.front == (cc.back + 1)%DIM) return true;
    return false;
}
```

### 10.3.2 Coda (III)

```
bool insqueue(coda& cc, T s) // inserisce un elemento
{
    if (full(cc)) return false;
    cc.queue[cc.back] = s;
    cc.back = (cc.back+1)%DIM;
    return true;
}

bool esqueue(coda& cc, T& s) // estrae un elemento
{
    if (empty(cc)) return false;
    s = cc.queue[cc.front];
    cc.front = (cc.front + 1)%DIM;
    return true;
}

void stampa(const coda& cc) // stampa gli elementi
{
    for (int i = cc.front; i%DIM != cc.back; i++)
        cout << cc.queue[i%DIM] << endl;
}
```

338

### 10.3.2 Coda (IV)

```
int main()
{
    coda qu; T num;
    inic(qu);
    if (empty(qu)) cout << "Coda vuota" << endl;
    for (int i = 0; i < DIM; i++)
        if (insqueue(qu, i))
            cout << "Inserito l'elemento " << i << " in
                posizione " << (qu.back + DIM - 1)%DIM << endl;
        else cerr << "Coda piena" << endl;
    if (full(qu)) cout << "Coda piena" << endl;
    stampa(qu);
    for (int i = 0; i < DIM - 2; i++)
        if (esqueue(qu, num))
            cout << "Estratto l'elemento " << num << " in
                posizione " << (qu.front + DIM - 1)%DIM << endl;
            else cout << "Coda vuota" << endl;
    for (int i = 0; i < DIM; i++)
        if (insqueue(qu, i))
            cout << "Inserito l'elemento " << i << " in posizione "
                << (qu.back + DIM - 1)%DIM << endl;
            else cerr << "Coda piena" << endl;
    stampa(qu);
    for (int i = 0; i < 2; i++)
        if (esqueue(qu, num))
            cout << "Estratto l'elemento " << num << " in
                posizione " << (qu.front + DIM - 1)%DIM << endl;
            else cout << "Coda vuota" << endl;
    stampa(qu);
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

339

## 10.3.2 Coda (V)

```
Coda vuota
Inserito l'elemento 0 in posizione 0
Inserito l'elemento 1 in posizione 1
Inserito l'elemento 2 in posizione 2
Inserito l'elemento 3 in posizione 3
Coda piena
Coda piena
0
1
2
3
Estratto l'elemento 0 in posizione 0
Estratto l'elemento 1 in posizione 1
Estratto l'elemento 2 in posizione 2
Inserito l'elemento 0 in posizione 4
Inserito l'elemento 1 in posizione 0
Inserito l'elemento 2 in posizione 1
Coda piena
Coda piena
3
0
1
2
Estratto l'elemento 3 in posizione 3
Estratto l'elemento 0 in posizione 4
1
2
Premere un tasto per continuare . . .
```

340

## 11.1 Tipi funzione

Dichiarazione di una funzione di  $n$  argomenti:

- associa ad un identificatore un tipo, determinato dalla  $n$ -upla ordinata dei tipi degli argomenti e dal tipo del risultato.

Valori associati ai tipi funzione:

- tutte le funzioni corrispondenti (non valgono le conversioni implicite).

```
#include <iostream>
using namespace std;

int quadrato(int n)           // Istanza di tipo funzione int(int)
{ return n*n; }

int cubo(int n)              // Istanza di tipo funzione int(int)
{ return n*n*n; }

double media(int fp(int), int a, int b) // funzione arg.
{ int s = 0;
  for (int n = a; n <= b; n++)
    s += fp(n);
  return static_cast<double>(s) / (b-a+1);
}

int main()
{
  cout << media(quadrato, 1, 2) << endl;
  cout << media(cubo, 1, 2) << endl;
  system("PAUSE");
  return 0;
}
```

2.5  
4.5

Premere un tasto per continuare . . .

341

## 11.2 Puntatori a funzione (I)

I puntatori possono contenere anche indirizzi di funzione.

**Definizione di un puntatore a funzione:**

result-type ( \* identifier ) (argument-portion|opt ) ;

**Chiamata di funzione attraverso il puntatore:**

identifier ( expression-list|opt )  
( \* identifier ) ( expression-list|opt )

```
#include <cstdlib>
```

```
#include <iostream>
```

```
using namespace std;
```

```
int quadrato(int n) { return n*n; }
```

```
int cubo(int n) { return n*n*n; }
```

```
double media(int (*pf)(int), int a, int b)
```

```
{int s = 0;
```

```
for (int n = a; n <= b; n++)
```

```
    s += (*pf)(n); // forma alternativa s += pf(n)
```

```
return static_cast<double>(s) / (b-a+1);
```

```
}
```

```
int main()
```

```
{ cout << media(quadrato, 1, 2) << endl;
```

```
cout << media(cubo, 1, 2) << endl;
```

```
system("PAUSE");
```

```
return 0;
```

```
}
```

342

## 11.2 Puntatori a funzione (II)

```
#include <cstdlib>
```

```
#include <iostream>
```

```
using namespace std;
```

```
void f1()
```

```
{ cout << "uno" << endl; }
```

```
void f2()
```

```
{ cout << "due" << endl; }
```

```
void f3(void (*&pf)(void))
```

```
{ int a;
```

```
cin >> a;
```

```
if (a==0) pf = f1; else pf = f2;
```

```
}
```

```
int main()
```

```
{
```

```
void(*p1)(void);
```

```
f3(p1);
```

```
(*p1)();
```

```
f3(p1);
```

```
(*p1)();
```

```
system("PAUSE");
```

```
return 0;
```

```
}
```

```
5
```

```
due
```

```
0
```

```
uno
```

```
Premere un tasto per continuare . . .
```

343

## 11.3 Argomenti default (I)

Argomenti formali di una funzione:

- possono avere inizializzatori;
- costituiscono il valore default degli argomenti attuali (vengono inseriti dal compilatore nelle chiamate della funzione in cui gli argomenti attuali sono omessi);
- se il valore default viene indicato solo per alcuni argomenti, questi devono essere gli ultimi;
- gli inizializzatori non possono contenere né variabili locali né argomenti formali della funzione.

Chiamata di funzione:

- possono essere omessi tutti o solo alcuni argomenti default: in ogni caso gli argomenti omessi devono essere gli ultimi.

Esempio (peso di un cilindro):

```
double peso(double lung, double diam = 10, double
dens = 15)
```

```
{
    diam /= 2;
    return (diam*diam * 3.14 * lung * dens);
}

int main()
{ // ...
    p = peso(125); // equivale a peso(125, 10, 15)
    p = peso(35, 5); // equivale a peso(35, 5, 15)
    // ...
}
```

## 11.3 Argomenti default (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

double perimetro(int nLati, double lunghLato = 1.0)
{
    return nLati * lunghLato;
}

void f() {
    // double p = perimetro();
    // cout << p << endl;
    }
    ERRORE

double perimetro(int nLati = 3, double lunghLato = 1.0);

void g()
{
    double p = perimetro();
    cout << p << endl;
    }
    //OK

int main ()
{
    f();
    g();
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

3 Premere un tasto per continuare . . .

## 11.4 Overloading (I)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int massimo(int a, int b)
{
    cout << "Massimo per interi " << endl;
    return a > b ? a : b;
}

double massimo(double a, double b)
{
    cout << "Massimo per double" << endl;
    return a > b ? a : b;
}

/* int massimo(double a, double b)    ERRORE!
{   return int(a > b ? a : b);}*/

int main ()
{
    cout << massimo(10, 15) << endl;
    cout << massimo(12.3, 13.5) << endl;
    cout << massimo(12.3, 13) << endl;
    // ERRORE: ambiguo
    cout << massimo('a','r') << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Massimo per interi 15  
Massimo per double 13.5  
Massimo per interi 114  
Premere un tasto per continuare . . .

346

## 11.4 Overloading (II)

```
// Sovrapposizione const - non const
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int massimo(const int v[], int n)
{
    cout << "Array const ";
    int m = v[0];
    for (int i = 1; i < n; i++) m = m >= v[i] ? m : v[i];
    return m;
}

int massimo(int v[], int n)
{
    cout << "Array non const ";
    int m = v[0];
    for (int i = 1; i < n; i++) m = m >= v[i] ? m : v[i];
    return m;
}

int main ()
{
    const int N = 5;
    const int cv[N] = {1, 10, 100, 10, 1};
    cout << massimo(cv, N) << endl;
    int v[N] = {1, 10, 100, 10, 1};
    cout << massimo(v, N) << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Array const 100  
Array non const 100  
Premere un tasto per continuare . . .

347

## 12.4 Dichiarazioni typedef (I)

Parola chiave *typedef*:

- definisce degli identificatori (detti *nomi typedef*) che vengono usati per riferirsi a tipi nelle dichiarazioni.

Le dichiarazioni typedef non creano nuovi tipi

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int i = 1;
    typedef int* intP;
    intP p = &i;
    cout << *p << endl;           // 1

    typedef int vett[5];
    vett v = {1, 10, 100, 10, 1};
    cout << "v = [" << v[0];
    for (int j = 1; j < 5; j++)
        cout << ", " << v[j];
    cout << "]" << endl;
    typedef int intero;
    int a = 4;
    intero b = a; // OK, typedef non introduce un nuovo tipo
    cout << a << " " << b << endl; // 4 4
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
1
v = [1 10 100 10 1]
4 4
```

Premere un tasto per continuare ...

348

## 13.1 Memoria dinamica (I)

• Programmi precedenti:

- il programmatore specifica, utilizzando definizioni, numero e tipo delle variabili utilizzate.

• Situazioni comuni:

- il programmatore non è in grado di stabilire a priori il numero di variabili di un certo tipo che serviranno durante l'esecuzione del programma.
- Per variabili di tipo array, per esempio, dover specificare le dimensioni (costanti) è limitativo.
- Vorremmo poter dimensionare un array dopo aver scoperto durante l'esecuzione del programma, quanto deve essere grande.
- Per esempio, somma di N numeri inseriti da tastiera, con N letto da tastiera.

• Meccanismo della memoria libera (o memoria dinamica):

- risulta possibile allocare delle aree di memoria durante l'esecuzione del programma, ed accedere a tali aree mediante puntatori;
- gli oggetti così ottenuti sono detti *dinamici*, ed *allocati nella memoria libera*.

349



## 13.1 Memoria dinamica (II)

- Allocazione di oggetti dinamici:

- operatore prefisso *new*:
  - » ha come argomento il tipo dell'oggetto da allocare;
  - » restituisce l'indirizzo della memoria ottenuta, che può essere assegnato a un puntatore;
  - » se non è possibile ottenere la memoria richiesta, restituisce l'indirizzo 0.

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
int main ()
{
    int* q;
    q = new int;
    *q = 10;
    cout << *q << endl;           // 10

    int * p;
    int n;
    cin >> n;
    p = new int [n];
    for (int i = 0; i < n; i++)
        p[i] = i;                // anche *(p+i) = i;

    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

350

## 13.1 Memoria dinamica (III)

- Buon esito dell'operatore *new*:

- può essere controllato usando la funzione di libreria *set\_new\_handler()*, dichiarata nel file <new>:
  - » questa funzione ha come argomento una funzione *void* senza argomenti, che viene eseguita se l'operatore *new* fallisce (se l'allocazione non è possibile).

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
#include <new>
using namespace std;
void myhandler()
{
    cerr << "Memoria libera non disponibile" << endl;
    exit(1);
}
int main()
{
    int n;
    set_new_handler(myhandler);
    cout << "Inserisci la dimensione " << endl;
    cin >> n;
    int** m = new int* [n];
    for (int i = 0; i < n; i++)
        m[i] = new int[n];
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

351

## Memoria dinamica (IV)

- Oggetti allocati nella memoria libera:

- esistono finché non vengono distrutti dall'operatore prefisso *delete*:
  - » esso ha come argomento un puntatore all'oggetto da distruggere;
  - » può essere applicato solo ad un puntatore che indirizza un oggetto allocato mediante l'operatore *new* (in caso contrario si commette un errore).

- Se l'operatore *delete* non viene utilizzato:

- gli oggetti allocati vengono distrutti al termine del programma.

```
int main()
{ int n = 12;
  int* p = new int(10);
  cout << *p << endl;
  delete p;
  // cout << *p << endl;
  // SBAGLIATO, NON SEGNALE ERRORE
  p = 0;
  // cout << *p << endl;
  // SEGNALE ERRORE A TEMPO DI ESECUZIONE
  int* m = new int [n];
  delete[] m;
  // delete n;
  // ERRORE - oggetto non allocato dinamicamente
  system("PAUSE");
  return 0;
}
```

352

## 13.2 Liste (I)

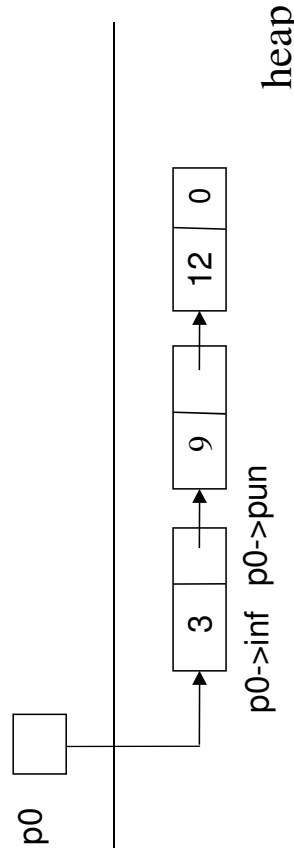
**Problema:** memorizzare numeri inseriti da tastiera finché non viene inserito il carattere ‘.’.

Struttura dati, formata da elementi dello stesso tipo collegati in catena, la cui lunghezza varia dinamicamente.

- Lista:

- ogni elemento è una struttura, costituita da uno o più campi contenenti informazioni, e da un campo puntatore contenente l'indirizzo dell'elemento successivo;
- il primo elemento è indirizzato da un puntatore (puntatore della lista);
- il campo puntatore dell'ultimo elemento contiene il puntatore nullo.

```
typedef int T;
struct elem
{
    T inf;
    elem* pun;
};
```



353

## 13.2 Liste (II)

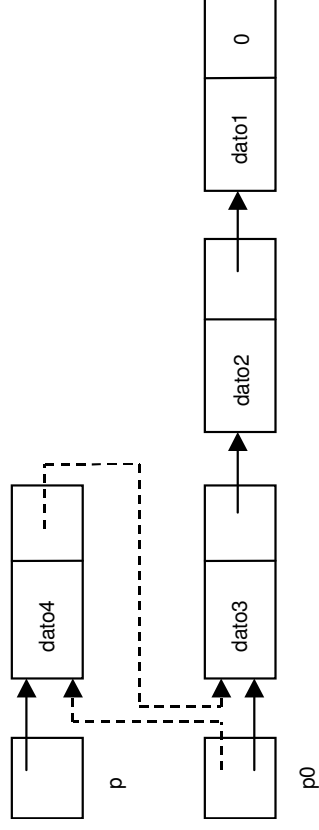
### Creazione di una lista

1. Leggere l'informazione
2. Allocare un nuovo elemento con l'informazione da inserire
3. Collegare il nuovo elemento al primo elemento della lista
4. Aggiornare il puntatore di testa della lista a puntare al nuovo elemento

```
typedef elem* lista;      // tipo lista
```

```
lista crealista(int n)
```

```
{  
    lista p0 = 0; elem* p;  
    for (int i = 0; i < n; i++)  
    {  
        p = new elem;  
        cin >> p->inf;  
        p->pun = p0; p0 = p;  
    }  
    return p0;  
}
```



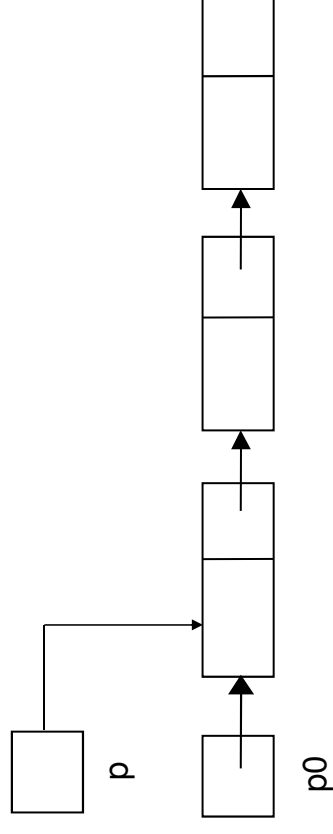
## 13.2 Liste (III)

### Stampa lista

1. Scandire la lista dall'inizio alla fine e per ogni elemento stampare su video il campo informazione

```
void stampalista(lista p0)
```

```
{  
    elem* p = p0;  
    while (p != 0)  
    {  
        cout << p->inf << ' ';  
        p = p->pun;  
    }  
}
```



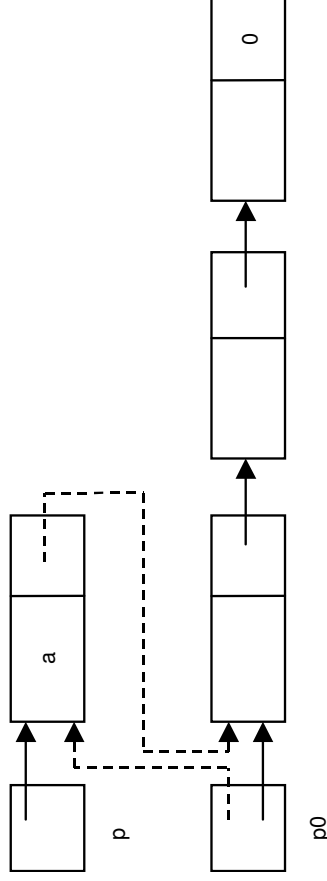
## 13.2 Liste(IV)

### Inserimento in testa

1. Allocare un nuovo elemento con l'informazione da inserire
2. Collegare il nuovo elemento al primo elemento della lista
3. Aggiornare il puntatore di testa della lista

void instesta(lista& p0, T a)

```
{
    elem* p = new elem;
    p->inf = a;
    p->pun = p0;
    p0 = p;
}
```



## 13.2 Liste(V)

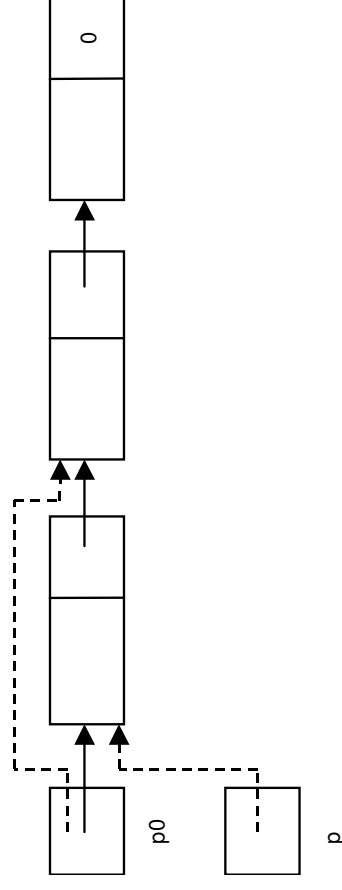
### Estrazione dalla testa

Se la lista non è vuota

1. Aggiornare il puntatore di testa della lista
2. Deallocare l'elemento

bool estesta(lista& p0, T& a)

```
{
    elem* p = p0;
    if (p0 == 0)
        return false;
    a = p0->inf;
    p0 = p0->pun;
    delete p;
    return true;
}
```



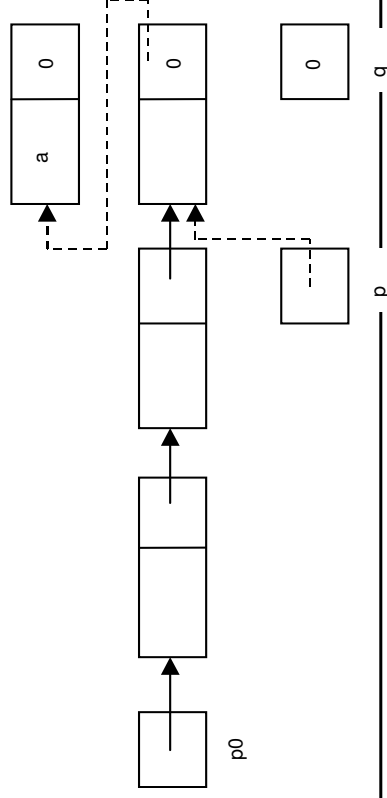
## 13.2 Liste(VI)

### Inserimento in fondo

1. Scandire la lista fino all'ultimo elemento (membro  $pun = 0$ )
2. Allocare un nuovo elemento con l'informazione da inserire
3. Collegare l'ultimo elemento al nuovo elemento

**void insfondo(lista& p0, T a)**

```
{
    elem* p;
    elem* q;
    for (q = p0; q != 0; q = q->pun)
        p = q;
    q = new elem;
    q->inf = a;
    q->pun = 0;
    if (p0 == 0)
        p0 = q;
    else
        p->pun = q;
}
```



358

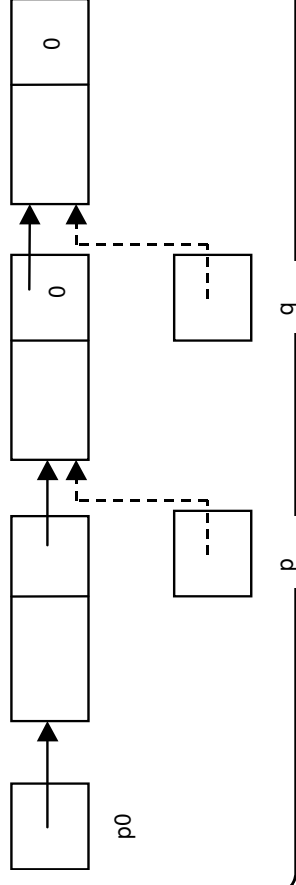
## 13.2 Liste(VII)

### Estrazione dal fondo

**ATTENZIONE:** necessita di due puntatori per scandire la lista

**bool estfondo(lista& p0, T& a)**

```
{
    elem* p = 0;
    elem* q;
    if (p0 == 0)
        return false;
    for (q = p0; q->pun != 0; q = q->pun)
        p = q;
    a = q->inf;
    // controlla se si estrae il primo elemento
    if (q == p0)
        p0 = 0;
    else
        p->pun = 0;
    delete q;
    return true;
}
```

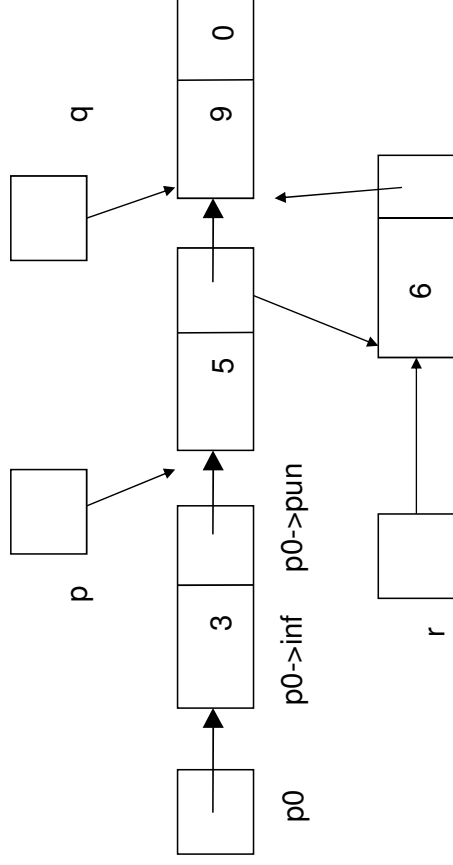


359

## 13.2 Liste(VIII)

### Inserimento in una lista ordinata

1. Scandire la lista finchè si incontra un elemento contenente nel campo inf un valore maggiore di quello da inserire oppure fine lista
2. Allocare un nuovo elemento con l'informazione da inserire
3. Inserire il nuovo elemento ....

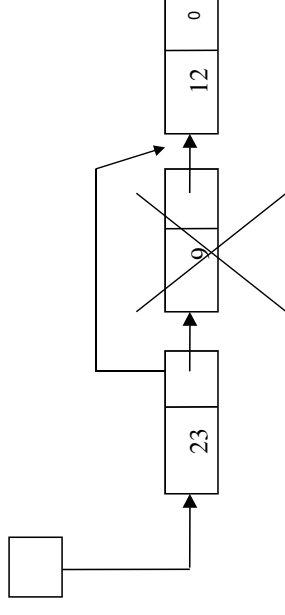


```
void inserimento(lista& p0, T a)
{
    elem* p = 0; elem* q; elem* r;
    for (q = p0; q != 0 && q->inf < a; q = q->pun)
        p = q;
    r = new elem;
    r->inf = a; r->pun = q;
    // controlla se si deve inserire in testa
    if (q == p0) p0 = r; else p->pun = r;
}
```

## 13.2 Liste(IX)

### Estrazione di un elemento da una lista

1. Scandire la lista finchè si incontra un elemento contenente l'informazione cercata
2. Se trovato, collegare i due nodi adiacenti
3. Deallocare l'elemento

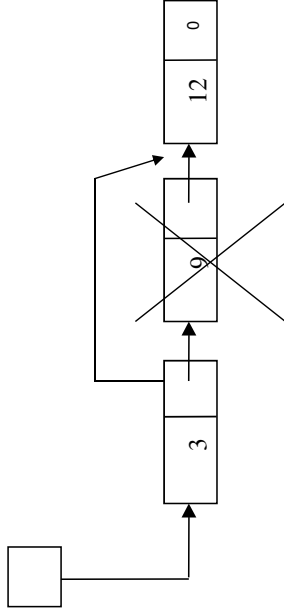


```
bool estrazione(lista& p0, T a)
{
    elem* p = 0; elem* q;
    for (q = p0; q != 0 && q->inf != a; q = q->pun)
        p = q;
    if (q == 0) return false;
    if (q == p0)
        p0 = q->pun;
    else
        p->pun = q->pun;
    delete q;
    return true;
}
```

## 13.2 Liste(X)

### Estrazione di un elemento da una lista ordinata

1. Scandire la lista finchè si incontra un elemento contenente l'informazione cercata o maggiore
2. Se trovato, collegare i due nodi adiacenti
3. Deallocare l'elemento



```

bool estrazione_ordinata(lista& p0, T a)
{
    elem* p = 0; elem* q;
    for (q = p0; q != 0 && q->inf < a; q = q->pun)
        p = q;
    if ((q == 0) || (q->info > a)) return false;
    if (q == p0)
        p0 = q->pun;
    else
        p->pun = q->pun;
    delete q;
    return true;
}

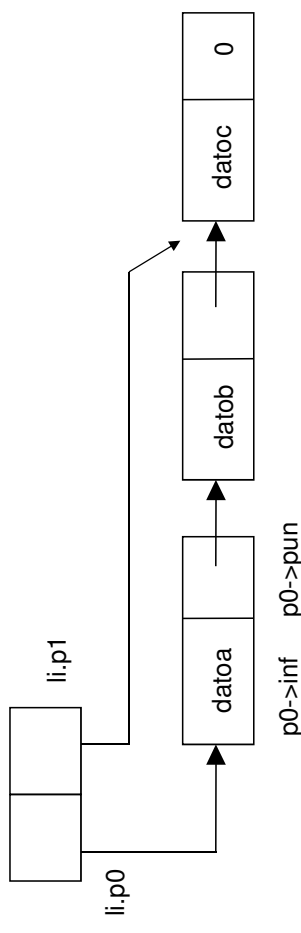
```

## 13.2 Liste con puntatore ausiliario (I)

```

struct lista_n
{
    elem* p0;
    elem* p1;
};

```



```

lista_n crealista1(int n)
{
    elem* p; lista_n li = {0, 0};
    if (n >= 1)
    {
        p = new elem;
        cin >> p->inf; p->pun = 0;
        li.p0 = p; li.p1 = p;
        for (int i = 2; i <= n; i++)
        {
            p = new elem;
            cin >> p->inf;
            p->pun = li.p0; li.p0 = p;
        }
        return li;
    }
}

```

## 13.2 Liste con puntatore ausiliario (II)

```

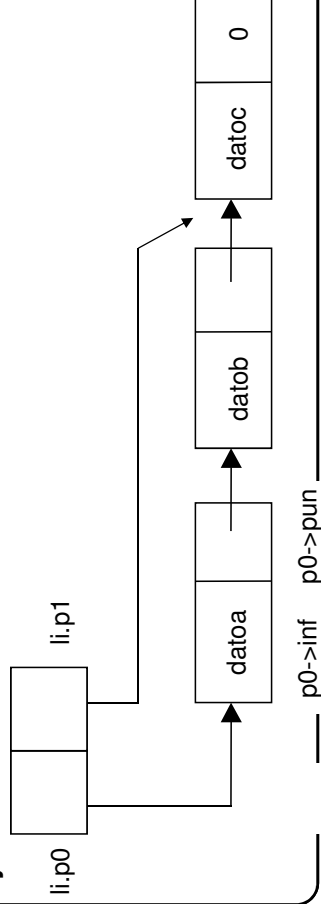
bool estesta1(lista_n& li, T& a)
{
    elem* p = li.p0;
    if (li.p0 == 0)
        return false;
    a = li.p0->inf; li.p0 = li.p0->pun;
    delete p;
    if (li.p0 == 0)
        li.p1 = 0;
    return true;
}

```

```

void insfondo1(lista_n& li, T a)
{
    elem* p = new elem;
    p->inf = a; p->pun = 0;
    if (li.p0 == 0)
    {
        li.p0 = p; li.p1 = p;
    }
    else
    {
        li.p1->pun = p;
        li.p1 = p;
    }
}

```



364

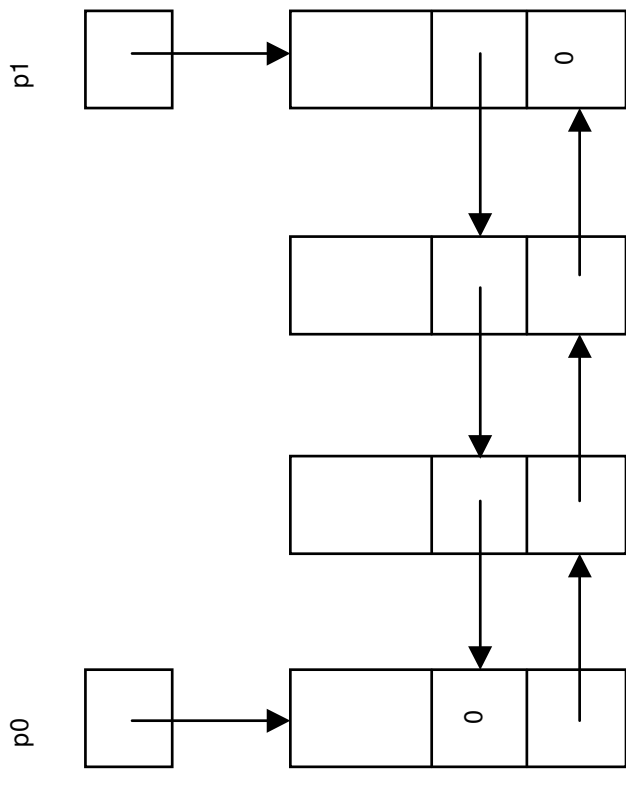
## 13.3 Liste complesse

```

struct nu_elem
{
    T inf;
    elem* prec;
    elem* succ;
};

struct lista_c
{
    nu_elem* p0;
    nu_elem* p1;
};

```



365



## 14.2.1 Visibilità

### Programmi semplici:

- formati da poche funzioni, tutte contenute in un unico file, che si scambiano informazioni attraverso argomenti e risultati.

### Programmi più complessi:

- si utilizzano tecniche di programmazione modulare:
  - suddivisione di un programma in diverse parti che vengono scritte, compilate (verificate e modificate) separatamente;
  - scambio di informazioni fra funzioni utilizzando oggetti comuni.

### Visibilità (scope):

- campo di visibilità di un identificatore (parte di programma in cui l'identificatore può essere usato);

### Regole che definiscono la visibilità degli identificatori (regole di visibilità):

- servono a controllare la condivisione delle informazioni fra i vari componenti di un programma:
  - permettono a più parti del programma di riferirsi ad una stessa entità (il nome dell'entità deve essere visibile alle parti del programma interessate);
  - impediscono ad alcune parti di un programma di riferirsi ad una entità (il nome dell'entità non deve essere visibile a tali parti).

## 14.3 Blocchi

### // Sequenza di istruzioni racchiuse tra parentesi graffe

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
void f()
{
    int i = 2;
    cout << i << endl;
}
int main()
{
    cout << i << endl;          ERRORE!

    int i = 1, j = 5;
    cout << i << '\t' << j << endl;    // 1 5
    {
        cout << i << '\t' << j << endl;    // blocco
        int i = 10;    // nasconde l'oggetto i del blocco super.
        cout << i << endl;    // 10
    }
    cout << i << endl;    // 1
    f();
    cout << i << endl;    // 1
    for (int a = 0; a < 2; a++)
    {
        int b = 2 * a;
        cout << a << '\t' << b << endl;    // 0 0 1 2
    }
    // cout << a << '\t' << b << endl;    ERRORE!
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

## 14.4 Unità di compilazione (I)

### Unità di compilazione:

- costituita da un file sorgente e dai file inclusi mediante direttive `#include`;
- se il file da includere non è di libreria, il suo nome va racchiuso tra virgolette (e non fra parentesi angolari).

### Esempio:

```
// file header.h
int f1(int); int f2(int);

// file main.cpp
#include "header.h"
int main()
{
    f1(3);
    f2(5);
    return 0;
}

// Unità di compilazione risultante
int f1(int); int f2(int);
int main()
{
    f1(3);
    f2(5);
    return 0;
}
```

## 14.4 Unità di compilazione (II)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
int i;
// visibilit  a livello di file

void leggi()
{
    cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
    cin >> i;
}

void scrivi()
{
    cout << i << endl;
}

int main()
{
    leggi();
    scrivi();
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

### Inserisci un numero intero

2

2

Premere un tasto per continuare . . .

- Identificatori di oggetti con visibilit  a livello di file individuano oggetti condivisi da tutte le funzioni definite nel file.

## 14.4 Unità di compilazione (III)

// Operatore :: unario (risoluzione di visibilità)

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
int i = 1; // visibilità a livello di file
```

```
int main()
{
    cout << i << endl; // 1
    {
        int i = 5; // visibilità locale
        cout << ::i << "\t" << i << endl; // 1 5
        {
            int i = 10; // visibilità locale
            cout << ::i << "\t" << i << endl; // 1 10
        }
    }
    cout << ::i << endl; // 1
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
1
1 5
1 10
1
Premere un tasto per continuare ...
```

370

## 14.5 Spazio di nomi (I)

Spazio di nomi:

- Insieme di dichiarazioni e definizioni racchiuse tra parentesi graffe, ognuna delle quali introduce determinate entità dette *membri*.
- Può essere dichiarato solo a livello di file o all'interno di un altro spazio dei nomi.
- Gli identificatori relativi ad uno spazio dei nomi sono visibili dal punto in cui sono dichiarati fino alla fine dello spazio dei nomi.

namespace uno

```
{
    struct st {int a; double d; };
    int n;
    void ff(int a)
    { /* ... */ }
    //...
}
```

namespace due

```
{
    struct st {int a; double d; };
}
```

int main()

```
{
    uno::st ss1;
    using namespace due; //direttiva
    st ss2;
}
```

371

## 14.5 Spazio di nomi (II)

```
namespace uno
{
    struct st {int a; double d; };
    int n;
    void ff(int a)
    { /* ... */ }
    // ...
}

namespace due
{
    struct st {int a; double d;};
}

int main()
{
    uno::st ss1;
    using namespace uno;
    using namespace due;
    st ss2;
    uno::st ss2;
    //
}
```

L'uso della direttiva using namespace può generare delle ambiguità.

## 14.5 Spazio di nomi (III)

Lo spazio dei nomi è aperto, cioè è possibile usare più volte lo stesso identificatore di spazio dei nomi in successive dichiarazioni, per includervi nuovi membri.

Spazio dei nomi globali: costituito dalle definizioni e dichiarazioni a livello di file.  
Per usare uno specifico identificatore si può usare la dichiarazione using.

```
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
namespace uno
{
    int i = 2, j = 3;
}
int i = 4, j = 5;           //Spazio globale
int main()
{
    using :: i;
    using uno :: j;
    cout << i << '\t' << j << endl;
    using uno::i;           ERRORE: ri-dichiarazione di i
    {
        using uno::i;
        cout << i << '\t' << ::j << endl;
    }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

4 3  
2 5

Premere un tasto per continuare ...

## 14.6 Collegamento (I)

### Programma:

- può essere formato da più unità di compilazione, che vengono sviluppate separatamente e successivamente collegate per formare un file eseguibile.

### Collegamento:

- un identificatore ha *collegamento interno* se si riferisce a una entità accessibile solo da quella unità di compilazione;
  - uno stesso identificatore che ha collegamento interno in più unità di compilazione si riferisce in ognuna a una entità diversa;
- in una unità di compilazione, un identificatore ha *collegamento esterno* se si riferisce a una entità accessibile anche ad altre unità di compilazione;
  - tale entità deve essere unica in tutto il programma.

### Regola default:

- gli identificatori con visibilità locale hanno collegamento interno;
- gli identificatori con visibilità a livello di file hanno collegamento esterno (a meno che non siano dichiarati con la parola chiave *const*).

## 14.6 Collegamento (II)

### Oggetti e funzioni con collegamento esterno:

- possono essere utilizzati in altre unità di compilazione;
- in ciascuna unità in cui vengono utilizzati devono essere *dichiarati* (anche più volte).

### Oggetto:

- viene solo dichiarato se si usa la parola chiave *extern* (e se non viene specificato nessun valore iniziale);
- viene anche definito se non viene usata la parola chiave *extern* (o se viene specificato un valore iniziale).

### Funzione:

- viene solo dichiarata se si specifica solo l'intestazione (si può anche utilizzare la parola chiave *extern*, nel caso in cui la definizione si trovi in un altro file);
- viene anche definita se si specifica anche il corpo.

### Osservazione:

- analogamente agli oggetti con visibilità a livello di file (oggetti condivisi), anche gli oggetti con collegamento esterno (oggetti *globali*) permettono la condivisione di informazioni fra funzioni.

## 14.6 Collegamento (III)

```
// ----- file file1.cpp----- //
int a = 1;           // collegamento esterno
const int N = 0;     // const, collegamento interno
static int b = 10;   // static, collegamento interno
// collegamento esterno
void f1(int a)
{
    int k;           // a - collegamento interno
    /* ... */        // k - collegamento interno
}

// static, collegamento interno
static void f2()
{
    /* ... */
}

struct punto        // collegamento interno (dichiarazione)
{
    double x;
    double y;
};

punto p1;           // collegamento esterno
                    (continua ...)
```

376

## 14.6 Collegamento (IV)

```
// ----- file file2.cpp----- //
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

extern int a;        // solo dichiarazione
void f1(int);        // solo dichiarazione
void f2();           // solo dichiarazione
void f3();           // solo dichiarazione
double f4(double, double); // definizione mancante
// OK, non utilizzata

int main()
{
    cout << a << endl; // OK, 1
    extern int b;       // dichiarazione
    cout << b << endl; // ERROR!
    f1(a);              // OK
    f2();               // ERROR!
    f3();               // ERROR!
    punto p2;           // ERROR! punto non dichiarato
    p1.x = 10;          // ERROR! P1 non dichiarato
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

Stesso tipo in più unità di compilazione:

- viene verificata solo l'uguaglianza tra gli identificatori del tipo;
- se l'organizzazione interna non è la stessa, si hanno errori logici a tempo di esecuzione.

377

## 14.8 Classi di memorizzazioni

```
// Oggetti di classe automatica e di classe statica
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

static int m; // inizializzato a zero
int contaChiamateErrata()
{
    int n = 0; // ERRATA!
    return ++n; // di classe automatica
}

int contaChiamate()
{
    static int n = 0; // di classe statica
    ++n;
    return ++n;
}

int main()
{
    for (int i = 0; i < 3; i++)
        cout << contaChiamateErrata() << endl;
    for (int i = 0; i < 3; i++)
        { cout << contaChiamate() << 't'; cout << m << endl; }
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
1
1
1
1
2
3
```

Premere un tasto per continuare....

378

## 14.8 Classi di memorizzazioni

```
// Attenzione: ordine (punti di sequenza)
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

static int m; // inizializzato a zero
int contaChiamateErrata()
{
    int n = 0; // ERRATA!
    return ++n; // di classe automatica
}

int contaChiamate()
{
    static int n = 0; // di classe statica
    ++n;
    return ++n;
}

int main()
{
    for (int i = 0; i < 3; i++)
        cout << contaChiamateErrata() << endl;
    for (int i = 0; i < 3; i++)
        cout << m << 't' << contaChiamate() << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
1
1
1
1
2
3
```

Premere un tasto per continuare....

379

## 14.10 Effetti collaterali (I)

```
// Variabili globali

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int a = 10, b = 100;

// Incrementa il maggiore. Restituisce il maggiore non
// incrementato.
int incremMag()
{
    if (a > b)
        return a++;
    else
        return b++;
}

int main()
{
    cout << incremMag() << endl;
    cout << a << '\t' << b << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
100
10  101
Premere un tasto per continuare ...
```

380

## 14.10 Effetti collaterali (II)

```
// Argomenti di tipo puntatore

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

// Incrementa il maggiore. Restituisce il maggiore non
// incrementato.
int incremMag(int *pa, int *pb)
{
    if (*pa > *pb)
        return (*pa)++;
    else
        return (*pb)++;
}

int main()
{
    int i = 10, j = 100;
    cout << incremMag(&i, &j) << endl;
    cout << i << '\t' << j << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
100
10  101
Premere un tasto per continuare ...
```

381



## 14.10 Effetti collaterali (III)

```
// Problema: proprietà' associativa
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
// Incrementa il maggiore. Restituisce il maggiore non
// incrementato.
int incremMag(int *pa, int *pb)
{
    if (*pa > *pb)
        return (*pa)++;
    else
        return (*pb)++;
}

int main()
{
    int i = 10, j = 100;
    cout << incremMag(&i, &j) + incremMag(&i, &j);
    cout << endl;
    cout << i << '\t' << j << endl;
    i = 10, j = 100;
    cout << incremMag(&i, &j) - incremMag(&i, &j);
    cout << endl;
    cout << i << '\t' << j << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
201
10    102
-1
10    102
Premere un tasto per continuare ...
```

382

## 14.10 Effetti collaterali (IV)

```
// Problema: ordine di valutazione degli operandi
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;
// Incrementa il maggiore. Restituisce il maggiore non
// incrementato.
int incremMag(int *pa, int *pb)
{
    if (*pa > *pb)
        return (*pa)++;
    else
        return (*pb)++;
}

int main()
{
    int i = 10, j = 100;
    cout << i + j + incremMag(&i, &j) << endl;
    cout << i << '\t' << j << endl;
    i = 10, j = 100;
    cout << incremMag(&i, &j) + i + j << endl;
    cout << i << '\t' << j << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
210
10    101
211
10    101
Premere un tasto per continuare ...
```

383

## 14.10 Effetti collaterali (V)

```
// Problema: ottimizzazione
#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

// Incrementa il maggiore. Restituisce il maggiore non
// incrementato.
int incremMag(int *pa, int *pb)
{
    if (*pa > *pb)
        return (*pa)++;
    else
        return (*pb)++;
}

int main()
{
    int i = 10, j = 100, r1, r2;
    r1 = i + j + incremMag(&i, &j);           // 210
    r2 = i + j + incremMag(&i, &j);           // 212
    cout << r1 << '\t' << r2 << endl;
    i = 10, j = 100;
    r1 = i + j + incremMag(&i, &j);
    r2 = r1;                                 // 210 210
    cout << r1 << '\t' << r2 << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

```
210 212
210 210
Premere un tasto per continuare ...
```

384

## 14.11 Moduli (I)

### Modulo:

- parte di programma che svolge una particolare funzionalità e che risiede su uno o più file;
- moduli *servitori* e moduli *clienti*.

### Modulo servitore:

- offre (esporta) risorse di varia natura, come funzioni, variabili (globali) e tipi.
- costituito normalmente da due file (con estensione *h* e *cpp*, rispettivamente):
  - intestazione o interfaccia (dichiarazione dei servizi offerti);
  - realizzazione.

### Separazione fra interfaccia e realizzazione:

- ha per scopo l'occultamento dell'informazione (*information hiding*);
  - semplifica le dipendenze fra i moduli;
  - permette di modificare la realizzazione di un modulo senza influenzare il funzionamento dei suoi clienti.

### Modulo cliente:

- utilizza (importa) risorse offerte dai moduli servitori (include il file di intestazione di questi);
- viene scritto senza conoscere i dettagli relativi alla realizzazione dei moduli servitori.

385

## 14.11 Moduli (II)

```
// ESEMPIO PILA
// MODULO SERVER

// file pila.h
typedef int T;
const int DIM = 5;
struct pila
{
    int top;
    T stack[DIM];
};

void inip(pila& pp);
bool empty(const pila& pp);
bool full(const pila& pp);
bool push(pila& pp, T s);
bool pop(pila& pp, T& s);
void stampa(const pila& pp);

// file pila.cpp
#include <cstdlib>
#include <iostream>
#include "pila.h"
using namespace std;

// inizializzazione della pila
void inip(pila& pp)
{
    pp.top = -1;
}
....
```

386

## 14.11 Moduli (III)

```
// ESEMPIO PILA
// MODULO CLIENT

// file pilaMain.cpp
#include <cstdlib>
#include <iostream>
#include "pila.h"
using namespace std;

int main()
{
    pila st;
    inip(st);
    T num;
    if (empty(st)) cout << "Pila vuota" << endl;
    for (int i = 0; i < DIM; i++)
        if (push(st, DIM - i))
            cout << "Inserito " << DIM - i <<
                ". Valore di top: " << st.top << endl;
        else
            cerr << "Inserimento di " << i << " fallito" <<
                endl;
    if (full(st)) cout << "Pila piena" << endl;
    system("PAUSE");
    return 0;
}
```

387

### 14.11.1 Astrazioni procedurali

#### Astrazioni procedurali.

- i moduli servitori mettono a disposizione dei moduli clienti un *insieme di funzioni*;
- le dichiarazioni di tali funzioni si trovano in un file di intestazione che viene incluso dai moduli clienti;
- la realizzazione di tali funzioni si trova in un file diverso (che non viene incluso).
- tali funzioni vengono usate senza che sia necessaria alcuna conoscenza della loro struttura interna.

#### Esempio:

- le funzioni di libreria per l'elaborazione delle stringhe sono contenute in un modulo il cui file di intestazione è *<string>*, e il loro utilizzo non richiede alcuna conoscenza sulla loro realizzazione.

### 14.11.1 Tipi di dato astratto

#### Tipi di dato astratti:

- principio dell'occultamento dell'informazione:
  - l'organizzazione interna del tipo non deve essere accessibile ai moduli clienti;
  - i moduli clienti possono definire oggetti di quel tipo, e accedervi soltanto attraverso le funzioni dichiarate nell'intestazione, **senza possibilità di accedere alla loro organizzazione interna.**

Le sole regole di visibilità e collegamento del linguaggio non consentono di avere moduli che realizzano compiutamente tipi di dato astratti.

```
#include "pila.h"
int main()
{
    pila st;
    inip(st);
    push(st, 1);
    cout << st.top << endl;    // ATTENZIONE!
    st.top = 10;              // ATTENZIONE!
    // ...
}

#include "pila.h"
int f(pila& p) {p.top = 5;}
int main()
{
    pila st;
    inip(st);
    f(st);
    // ...
}
```

## 16.2 Tipi classe (I)

Nell'esempio precedente, la struttura interna della pila è visibile ai moduli che utilizzano istanze della pila. In questo modo non si riesce a realizzare compiutamente il tipo di dato astratto.

Per ovviare a questo problema, il C++ mette a disposizione le classi.

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
typedef int T;
const int DIM = 5;
class pila
{
    int top;
    T stack[DIM];
public:
    void inip();
    bool empty();
    bool full();
    bool push(T s);
    bool pop(T& s);
    void stampa();
};
```

```
int main()
{
    pila st;
    st.inip();
    st.push(1);
    st.top = 10;
    // ERRORE!
    // 'int pila::top' is private within this context
}
```

## 16.2 Tipi classe (II)

```
basic-class-type-declaration
class-type-specifier ;
class-type-specifier
class identifier opt { class-element-seq }
class-element
access-indicator opt class-member-section
access-indicator
access-specifier :
access-specifier
private
protected
public
```

In genere utilizzeremo la forma semplificata seguente:

```
class nome
{
    parte privata
protected:
    parte protetta
public:
    parte pubblica
};
```

Un membro di una classe può essere:

- un tipo (enumerazione o struttura);
- un campo dati (oggetto non inizializzato);
- una funzione (dichiarazione o definizione);
- una classe (diversa da quella della classe a cui appartiene).

## 16.2 Tipi classe (III)

```
// Numeri Complessi (parte reale, parte immaginaria)
#include<iostream>
using namespace std;
class complesso
{
    double re, im;
public:
    void iniz_compl(double r, double i) {re = r; im = i;}
    double reale() {return re;}
    double immag() {return im;}
    /* ... */
    void scrivi() {cout << '(' << re << ", " << im << ')';}
};

int main()
{
    complesso c1, c2;
    c1.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c1.scrivi(); cout << endl;
    // (1, -1)

    c2.iniz_compl(10.0, -10.0);
    c2.scrivi(); cout << endl;
    // (10, -10)

    complesso* cp = &c1;
    cp->scrivi(); cout << endl;
    // (1, -1)

    return 0;
}
```

```
(1, -1)
(10, -10)
(1, -1)
```

392

## 16.2 Tipi classe (IV)

```
// Esempio Numeri Complessi
#include<iostream>
using namespace std;
class complesso
{
public:
    void iniz_compl(double r, double i) {re = r; im = i;}
    double reale() {return re;}
    double immag() {return im;}
    /* ... */
    void scrivi() {cout << '(' << re << ", " << im << ')';}
private:
    double re, im;
};

int main()
{
    complesso c1, c2;
    c1.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c1.scrivi(); cout << endl;
    // (1, -1)

    c2.iniz_compl(10.0, -10.0);
    c2.scrivi(); cout << endl;
    // (10, -10)

    complesso* cp = &c1;
    cp->scrivi(); cout << endl;
    // (1, -1)

    return 0;
}
```

```
(1, -1)
(10, -10)
(1, -1)
```

393

## 16.2 Tipi classe (V)

```
// Numeri Complessi (rappresentazione polare)
#include<iostream>
#include<cmath>
using namespace std;
class complesso
{ double mod, arg;
public:
    void iniz_compl(double r, double i)
        {mod = sqrt(r*r + i*i); arg = atan(i/r);}
    double reale() {return mod*cos(arg);}
    double immag() {return mod*sin(arg);}
    /* ... */
    void scrivi()
        {cout << '(' << reale() << ", " << immag() << ')';}
};

int main()
{
    complesso c1, c2;
    c1.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c1.scrivi(); cout << endl;           // (1, -1)

    c2.iniz_compl(10.0, -10.0);
    c2.scrivi(); cout << endl;          // (10, -10)

    complesso* cp = &c1;
    cp->scrivi(); cout << endl;         // (1, -1)

    return 0;
}
```

```
(1,-1)
(10,-10)
(1,-1)
```

394

## 16.2 Tipi classe (VI)

Le funzioni membro definite nella dichiarazione di una classe sono funzioni inline.  
Le funzioni membro possono anche essere definite esternamente utilizzando l'operatore di risoluzione di visibilità'.

```
#include<iostream>
using namespace std;
class complesso
{
public:
    void iniz_compl(double r, double i);
    double reale();
    double immag();
    /* ... */
    void scrivi();
private:
    double re, im;
};

void complesso::iniz_compl(double r, double i)
{re = r; im = i;}

double complesso::reale()
{return re;}

double complesso::immag()
{return im;}

void complesso::scrivi()
{cout << '(' << re << ", " << im << ')';}
```

395

## 16.3 Operazioni su oggetti classe

Un oggetto appartenente ad una classe si chiama oggetto classe o istanza della classe

```
class complesso
{ /* ... */ };

int main()
{
    complesso c1;
    c1.iniz_compl(1.0, -1.0);
    complesso c2 = c1, c3(c2);
    //Inizializzazione - ricopiatura membro a membro
    c1.scrivi(); cout << endl;      // (1, -1)
    c2.scrivi(); cout << endl;      // (1, -1)
    c3.scrivi(); cout << endl;      // (1, -1)

    complesso *pc1 = new complesso(c1);
    pc1->scrivi(); cout << endl;    // (1, -1)

    complesso* pc2 = &c1;
    pc2->scrivi(); cout << endl;    // (1, -1)

    return 0;
}
```

```
(1, -1)
(1, -1)
(1, -1)
(1, -1)
(1, -1)
```

## 16.3 Operazioni su oggetti classe

```
class complesso
{ /* ... */ };

complesso somma(complesso a, complesso b)
{
    complesso s;
    s.iniz_compl(a.reale()+b.reale(),
                a.immag() + b.immag());
    return s;
}

int main()
{
    complesso c1, c2, c3;
    c1.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c2 = c1; //Assegnamento - ricopiatura membro a membro
    c1.scrivi(); cout << endl;      // (1, -1)
    c2.scrivi(); cout << endl;      // (1, -1)

    c3 = somma(c1, c2);           // oggetti argomento di funzioni
    c3.scrivi(); cout << endl;      // e restituiti da funzioni
                                     // (2, -2)

    return 0;
}
```

```
(1, -1)
(1, -1)
(2, -2)
```

**ATTENZIONE:** non esistono altre operazioni predefinite



## 16.4 Puntatore this (I)

Nella definizione di una funzione membro, il generico oggetto a cui la funzione viene applicata può essere riferito tramite il puntatore costante predefinito `this`

```
class complesso
{ /* ... */
    complesso scala(double s) // restituisce un valore
    {
        re *= s;
        im *= s;
        return *this;
    }
};

int main()
{
    complesso c1;
    c1.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c1.scala(2);
    c1.scrivi(); cout << endl; // (2, -2)

    complesso c2;
    c2.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c2.scala(2).scala(2);
    c2.scrivi(); cout << endl; // (2, -2)

    return 0;
}
```

(2, -2)  
(2, -2)

## 16.4 Puntatore this (II)

```
class complesso
{ /* ... */
    complesso& scala(double s) // restituisce un riferimento
    {
        re *= s;
        im *= s;
        return *this;
    }
};

int main()
{
    complesso c1;
    c1.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c1.scala(2);
    c1.scrivi(); cout << endl; // (2, -2)

    complesso c2;
    c2.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c2.scala(2).scala(2);
    c2.scrivi(); cout << endl; // (4, -4)

    return 0;
}
```

(2, -2)  
(4, -4)

## 16.5 Visibilità a livello di classe (I)

Una classe individua un *campo di visibilità*.

- Gli identificatori dichiarati all'interno di una classe sono visibili dal punto della loro dichiarazione fino alla fine della classe stessa.
- Nel corpo delle funzioni membro sono visibili tutti gli identificatori presenti nella classe (anche quelli non ancora dichiarati).
- Se nella classe viene riutilizzato un identificatore dichiarato all'esterno della classe, la dichiarazione fatta nella classe nasconde quella più esterna.
- All'esterno della classe possono essere resi visibili mediante l'operatore di risoluzione di visibilità :: applicato al nome della classe:
  - Le funzioni membro, quando vengono definite;
  - Un tipo o un enumeratore, se dichiarati nella parte pubblica della classe
  - Membri statici
- L'operatore di visibilità non può essere utilizzato per i campi dati non statici.

## 16.5 Visibilità a livello di classe (II)

```
class grafica
{ // ...
public:
    enum colore { rosso, verde, blu };
};

class traffico
{ // ...
public:
    enum colore { rosso, giallo, verde };
    colore stato();
// ...
};

traffico::colore traffico::stato()
{ /* ... */ }

// ...
grafica::colore punto;
traffico::colore semaforo;

int main()
{
    // ...
    punto = grafica::rosso;
    semaforo = traffico::rosso;
    //...
}
```

## 16.5 Visibilità a livello di classe (III)

Nella dichiarazione di una classe si può dichiarare un'altra classe (classe annidata). In questo caso, per riferire membri della classe annidata esternamente alla classe che la contiene devono essere usati due operatori di risoluzione di visibilità. Nessuna delle due classi ha diritti di accesso alla parte privata dell'altra.

```
class A
{
    class B
    {
        int x;
    public:
        void iniz_B(int);
    };
    int y;
    public:
        void iniz_A();
};

void A::iniz_A(){ y = 0; }
void A::B::iniz_B(int n) { x = n; }

// void A::iniz_A(){x = 3; } ERRORE: A non può accedere
// alla parte privata di B

// void A::B::iniz_B(int n){y = n;} // ERRORE: B non può
// accedere alla parte privata
// di A
```

## 16.6 Modularità e ricompilazione (I)

L'uso delle classi permette di scrivere programmi in cui l'interazione tra moduli è limitata alle interfacce.

Quando si modifica la parte dati di una classe, anche se gli altri moduli utilizzano solo l'interfaccia, si rende necessaria la ricompilazione dei moduli. Infatti, se in un modulo cliente viene definito un oggetto classe, il compilatore ha bisogno di sapere la dimensione dell'oggetto.

Ai fini della ricompilazione non è appropriato separare una classe in interfaccia e struttura interna, ma piuttosto effettuare una suddivisione in file.

Un file di intestazione che contiene la dichiarazione della classe e deve essere incluso in tutti i moduli cliente.

Un file di realizzazione che contiene tutte le definizioni delle funzioni membro.

La modifica di un file di intestazione richiede la ricompilazione di tutti i file che lo includono.

La modifica di un file di realizzazione richiede solo la ricompilazione di questo file.

## 16.6 Modularità e ricompilazione (II)

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    void iniz_compl(double r, double i);
    double reale();
    double immag();
    /* ... */
    void scrivi();
    complesso& scala(double s);
};

// file complesso.cpp
#include<iostream>
#include "complesso.h"
using namespace std;

void complesso::iniz_compl(double r, double i)
{re = r; im = i;}

double complesso::reale() {return re;}

double complesso::immag() {return im;}

void complesso::scrivi()
{cout << '(' << re << ", " << im << ')';}

complesso& complesso::scala(double s)
{
    re *= s; im *= s;
    return *this;}
```

404

## 16.6 Modularità e ricompilazione (III)

```
// file main.cpp

#include<iostream>
#include "complesso.h"
using namespace std;
int main()
{
    complesso c1;
    c1.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c1.scale(2);
    c1.scrivi(); cout << endl; // (2, -2)

    complesso c2;
    c2.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c2.scale(2).scale(2);
    c2.scrivi(); cout << endl; // (4, -4)

    return 0;
}
```

405

## 16.7 Funzione globali

Funzioni globali: funzioni che non sono membro di alcuna classe.  
Non possono accedere alla parte privata delle classi e non possono usare il puntatore this.

```
#include <iostream>
#include "complesso.h"

complesso somma(const complesso& a, const
                complesso& b)
{
    complesso s;
    s.iniz_compl(a.reale()+b.reale(),
                a.immag() + b.immag());
    return s;
}

using namespace std;
int main()
{
    complesso c1, c2, c3;
    c1.iniz_compl(1.0, -1.0);
    c2.iniz_compl(2.0, -2.0);

    c3 = somma(c1, c2);
    c3.scrivi(); cout << endl;           // (3, -3)

    return 0;
}
```

(3, -3)

406

## 16.8 Costruttori (I)

Costruttore: funzione membro il cui nome è il nome della classe. Se definita viene invocata automaticamente tutte le volte che viene creata un'istanza di classe (subito dopo che è stata riservata la memoria per i campi dati)

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r, double i);
    double reale();
    double immag();
    /* ... */
    void scrivi();
};

// file complesso.cpp
/* .... */
complesso::complesso(double r, double i)
{re = r; im = i;}

// file main.cpp
/* .... */
int main()
{
    complesso c1(1.0, -1.0);
    c1.scrivi(); cout << endl;           // (1, -1)

    complesso c2;    // ERRORE: non esiste complesso()
    complesso c3(1); // ERRORE: non esiste complesso(int)
}
```

407

## 16.8 Costruttori default(I)

Per definire oggetti senza inizializzatori occorre definire un costruttore di default che può essere chiamato senza argomenti. Due meccanismi.

### 1) Meccanismo dell'overloading

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso();
    complesso(double r, double i);
    double reale();
    double immag();
    /* ... */
    void scrivi();
};

// file complesso.cpp
/* .... */
complesso :: complesso()    // costruttore di default
{re = 0; im = 0;}

complesso :: complesso(double r, double i)
{re = r; im = i;}

// file main.cpp
/* .... */
int main()
{
    complesso c1(1.0, -1.0);
    c1.scrivi(); cout << endl;
    complesso c2;
    complesso c3(3.0);
}

// (1, -1)
// ERRATO
```

## 16.8 Costruttori default(II)

### 2) Meccanismo degli argomenti default

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    double reale();
    double immag();
    /* ... */
    void scrivi();
};

// file complesso.cpp
/* .... */
complesso :: complesso(double r, double i)
{re = r; im = i;}

// file main.cpp
/* .... */
int main()
{
    complesso c1(1.0, -1.0);    // (1, -1)
    complesso c2;              // (0, 0)
    complesso c3(3.0);         // (3, 0)
    complesso c4 = 3.0;        // (3, 0)
    // possibile quando il costruttore può essere
    // invocato con un solo argomento
}

// (1, -1)
// (0, 0)
// (3, 0)
// (3, 0)
```

**ATTENZIONE:** I due meccanismi non possono essere utilizzati contemporaneamente.

## 16.8 Costruttori per allocare memoria

Spesso un costruttore richiede l'allocazione di memoria libera per alcuni membri dell'oggetto da costruire

```
// file stringa.h
class stringa
{
    char* str;
public:
    stringa(const char s[]);
    // ...
};

// file stringa.cpp
stringa::stringa(const char s[])
{
    str = new char[strlen(s)+1];
    strcpy(str, s);    // copia la stringa s nella stringa str
}
// ...

// file main.cpp
int main()
{
    stringa inf("Fondamenti di informatica I");
    /* ... */
}
```

Quando definiamo una variabile di tipo `stringa`, viene riservata memoria per `str` e quindi viene richiamato il costruttore che alloca un array della dimensione richiesta.

## 16.8 Costruttori per oggetti dinamici

I costruttori definiti per una classe vengono chiamati implicitamente anche quando un oggetto viene allocato dinamicamente

```
// file main.cpp

#include<iostream>
#include "complesso.h"
int main()
{
    complesso* pc1 = new complesso(3.0, 4.0);
    complesso* pc2 = new complesso(3.0);
    complesso* pc3 = new complesso;
    /* ... */
}
```

## 16.9 Distruttori

Distruttore: funzione membro che viene invocata automaticamente quando un oggetto termina il suo tempo di vita.

Un distruttore non ha argomenti.

Obbligatori quando il costruttore alloca memoria dinamica.

```
// file stringa.h
class stringa
{
    char* str;
public:
    stringa(const char s[]);           // distruttore
    ~stringa();
    // ...
};
```

```
// file stringa.cpp
stringa::stringa(const char s[])
{
    str = new char[strlen(s)+1];
    strcpy(str, s);    // copia la stringa s nella stringa str
}
stringa::~~stringa()
{
    delete[] str;
} /* */
```

```
// file main.cpp
/* */
int main()
{
    stringa* ps = new stringa("Fondamenti di Inf.");
    /* */
    delete ps;
}
```

## 16.9 Regole di chiamata

I costruttori vengono richiamati con le regole seguenti:

1. Per gli oggetti statici, all'inizio del programma;
2. Per gli oggetti automatici, quando viene incontrata la definizione;
3. Per gli oggetti dinamici, quando viene incontrato l'operatore new;
4. Per gli oggetti membri di altri oggetti, quando questi ultimi vengono costruiti.

I distruttori vengono richiamati con le regole seguenti:

1. Per gli oggetti statici, al termine del programma;
2. Per gli oggetti automatici, all'uscita dal blocco in cui sono definiti;
3. Per gli oggetti dinamici, quando viene incontrato l'operatore delete;
4. Per gli oggetti membri di altri oggetti, quando questi ultimi vengono distrutti.

Gli oggetti con lo stesso tempo di vita vengono distrutti nell'ordine inverso a quello in cui sono definiti.



## 16.9 Costruttori/Distruttori Esempio

```
// file stringa.cpp
/*...*/
stringa::stringa(const char s[])
{
    str = new char[strlen(s)+1];
    strcpy(str, s);    // copia la stringa s nella stringa str
    cout << "C " << str << endl;
}

stringa::~stringa()
{
    cout << "D " << str << endl;
    delete[] str;
}

// file main.cpp
#include <cstdlib>
#include "stringa.h"
int main()
{
    stringa* ps = new stringa("Fondamenti di Inf.");
    {
        stringa s("Reti Logiche");
    }
    delete ps;
    /*...*/
    return 0;
}
```

C Fondamenti di Inf.  
C Reti Logiche  
D Reti Logiche  
D Fondamenti di Inf.

## 16.10 Costruttori di copia (I)

**Costruttore di copia predefinito:** costruttore che agisce fra due oggetti della stessa classe effettuando una ricopiatura membro a membro dei campi dati.

**Viene applicato:**

1. Quando un oggetto classe viene inizializzato con un altro oggetto della stessa classe
2. Quando un oggetto classe viene passato ad una funzione come argomento valore;
3. Quando una funzione restituisce come valore un oggetto classe (mediante l'istruzione return)

**Nel caso della classe complesso il costruttore di copia predefinito ha la seguente forma:**  
`complesso(const complesso& c) { re = c.re; im = c.im;};`

## 16.10 Costruttori di copia (II)

```
// file main.cpp
#include "complesso.h"
complesso fun (complesso c)
{
    /* .... */
    return c;
}

int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4);           // <3.2, 4>
    c1.scrivi(); cout << endl;

    complesso c2 (c1);              // costruttore di copia
    c2.scrivi(); cout << endl;       // <3.2, 4>

    complesso c3 = c1;              // costruttore di copia
    c3.scrivi(); cout << endl;       // <3.2, 4>

    c3 = fun(c1);                   // istanza di funzione
                                    // costruttore di copia applicato 2 volte:
                                    // chiamata di funzione
                                    // restituzione del valore
    c3.scrivi(); cout << endl;       // <3.2, 4>

    return 0;
}
```

## 16.10 Costruttori di copia (III)

Per osservare quando il costruttore di copia viene effettivamente richiamato, ridefiniamo il costruttore di copia nella classe complesso ed eseguiamo lo stesso programma principale

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(const complesso&); // costruttore di copia
    /* ... */
};

// file complesso.cpp
/* .... */
complesso :: complesso(const complesso& c)
{
    re = c.re; im = c.im;
    cout << "Costruttore di copia " << endl;
}
```

(3.2, 4)  
Costruttore di copia  
(3.2, 4)  
Costruttore di copia  
(3.2, 4)  
Costruttore di copia  
Costruttore di copia  
(3.2, 4)

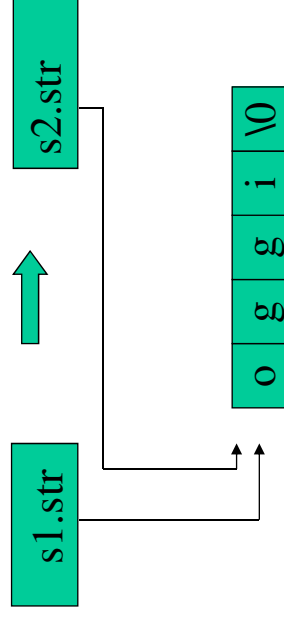
## 16.10 Costruttori di copia (IV)

Il costruttore di copia deve essere ridefinito per quelle classi che utilizzano memoria libera e prevedono un distruttore.

```
// file stringa.h
class stringa
{
    char* str;
public:
    stringa(const char s[]); // distruttore
    ~stringa();
    // ...
};

// file main.cpp
#include <cstdlib>
#include "stringa.h"
int main()
{
    stringa s1("oggi");
    stringa s2(s1); // costruttore di copia predefinito

    return 0;
}
```



## 16.10 Costruttori di copia (V)

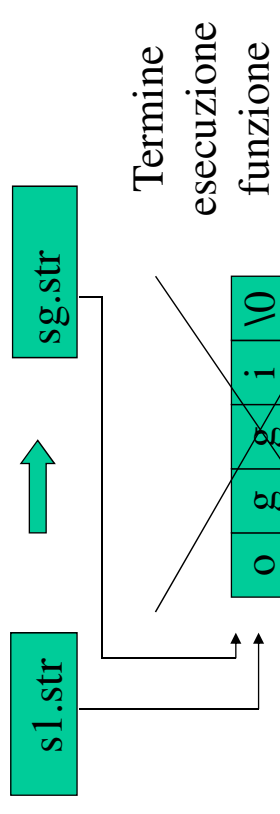
Consideriamo l'esempio seguente.

```
// file main.cpp
#include <cstdlib>
#include "stringa.h"

void ff(stringa sg)
{
    // ...
}

int main()
{
    stringa s1("oggi");
    ff(s1);

    return 0;
}
```

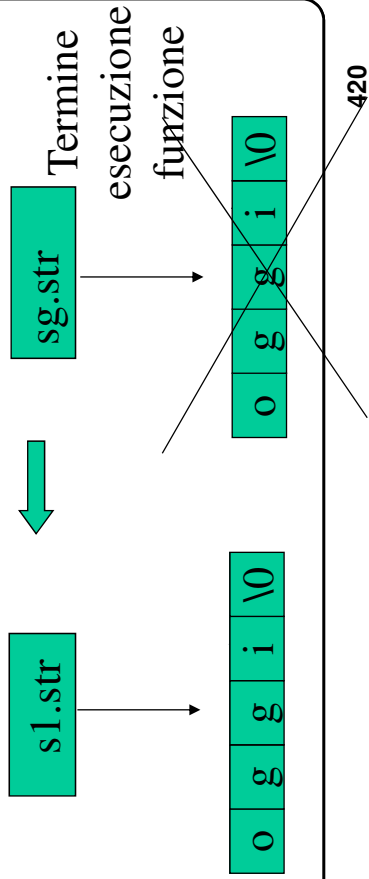


## 16.10 Costruttori di copia (VI)

```
// file stringa.h
class stringa
{
    char* str;
public:
    stringa(const stringa &);
    // ...
};

// file stringa.cpp
/* ... */
stringa::stringa(const stringa& s)
{
    str = new char[strlen(s.str) + 1];
    strcpy(str, s.str);
}

// file main.cpp
/* ... */
int main()
{
    stringa s1("oggi");
    ff(s1);
    /* ... */
}
```



## 16.10 Costruttori di copia (VI)

Se il costruttore di copia non viene ridefinito, viene usato il costruttore di copia predefinito.

Per impedirne l'utilizzo, occorre inserire la sua dichiarazione nella parte privata della classe stessa senza alcuna ridefinizione.

Nel caso in cui il costruttore di copia venga nascosto, non si possono avere funzioni che abbiano argomenti valore del tipo della classe o un risultato valore del tipo della classe.

```
// file stringa.h
class stringa
{
    char* str;
    stringa(const stringa &);
public:
    // ...
};

// file main.cpp
/* ... */
void ff(stringa sg)           // ERRORE
{
    // ...
}

void ff(stringa& sg)          // OK
{
    // ...
}
```

## 16.11 Funzioni friend (I)

Una funzione è *friend* (*amica*) di una classe se una sua dichiarazione, preceduta dalla parola chiave friend, appare nella dichiarazione di tale classe. Una funzione friend può accedere ai membri pubblici e privati della classe, usando i selettori di membro.

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    double reale();
    double immag();
    /* ... */
};

// file main.cpp
complesso somma(const complesso& a, const
                complesso& b)
{
    complesso s(a.reale()+b.reale(), a.immag() + b.immag());
    return s;
    // Non si puo' accedere ai
    // membri privati della classe
}

int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4);
    complesso c2 (c1);
    complesso c3 = somma(c1,c2);
    c3.scrivi(); cout << endl;
    // (6.4, 8)

    return 0;
}
```

## 16.11 Funzioni friend (II)

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    double reale();
    double immag();
    friend complesso somma(const complesso& a,
                          const complesso& b);
    /* ... */
};

// file main.cpp
complesso somma(const complesso& a, const
                complesso& b)
{
    complesso s(a.re+b.re, a.im + b.im);
    return s;
    // Si puo' accedere ai
    // membri privati della classe
}

int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4);
    complesso c2 (c1);
    complesso c3 = somma(c1,c2);
    c3.scrivi(); cout << endl;
    // (6.4, 8)

    return 0;
}
```

## 16.11 Funzioni friend (III)

```
// Esempio di utilizzo della FRIEND nel caso di una classe
// che utilizza un'altra classe:
// CASO A) classe utilizzatrice FRIEND (per intero) della classe utilizzata

#include<iostream>
using namespace std;

class complesso{           // dichiarazione della classe utilizzata
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0){re=r; im=i;}
    /* seguono le altre funzioni membro della classe complesso... */
    friend class vettoreComplesso; // FRIEND tutta la classe utilizzatrice
};

class vettoreComplesso // dichiarazione della classe utilizzatrice
{
    complesso *vett;    int size;
public:
    vettoreComplesso(int sz){
        if ( sz <= 0 )
            sz = 10; // in alternativa, provocare la terminazione (con la 'exit')
        size = sz;
        vett = new complesso[sz]; // chiamata al costruttore di default
        // su ogni complesso del vettore
    }
    double moduloQuadro(){
        double mQ = 0;
        for (int i=0; i<size; i++){
            // essendo friend vettoreComplesso puo' accedere a .re e .im
            // senza dover chiamare le funzioni di accesso reale() e immag()
            mQ += vett[i].re*vett[i].re + vett[i].im*vett[i].im;
        }
        return mQ;
    }
};

int main(){
    vettoreComplesso v(5);    cout<<"Modulo quadro di v: ";
    cout<<v.moduloQuadro()<<endl;    return 0;
}
```

424

## 16.11 Funzioni friend (IV)

```
// Esempio di utilizzo della FRIEND nel caso di una classe
// che utilizza un'altra classe:
// CASO B) solo alcuni metodi della classe utilizzatrice
// sono FRIEND di quella utilizzata

#include<iostream>
using namespace std;

class complesso;           //pre-dichiarazione della classe utilizzata
class vettoreComplesso // dichiarazione della classe utilizzatrice
{
    complesso *vett;    int size;
public:
    vettoreComplesso(int);
    double moduloQuadro();
};

class complesso{ // dichiarazione della classe utilizzata
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0){re=r; im=i;}
    friend double vettoreComplesso::moduloQuadro(); // FRIEND un metodo solo
};

// definizione delle funzioni membro della classe utilizzatrice
vettoreComplesso::vettoreComplesso(int sz){
    size = sz;    vett = new complesso[size]; // chiamata al costruttore di default
}

double vettoreComplesso::moduloQuadro(){
    double mQ = 0;
    for (int i=0; i<size; i++){
        mQ += vett[i].re*vett[i].re + vett[i].im*vett[i].im;
    }
    return mQ;
}

int main(){
    vettoreComplesso v(5);    cout<<"Modulo quadro di v: ";
    cout<<v.moduloQuadro()<<endl;    return 0;
}
```

425

## 17.1 Overloading di operatori (I)

- Tipo di dato astratto: può richiedere che vengano definite delle operazioni tipo somma, prodotto, etc.
- Opportuno utilizzare gli stessi operatori usati per le operazioni analoghe sui tipi fondamentali.
- Necessaria la ridefinizione degli operatori
- La ridefinizione di un operatore ha la forma di una definizione di funzione, il cui identificatore è costituito dalla parola chiave *operator* seguita dall'operatore che si vuole ridefinire, e ogni occorrenza dell'operatore equivale ad una chiamata alla funzione.
- Un operatore può designare una funzione membro o una funzione globale.

Se  $\odot$  è un operatore unario

1. Funzione membro *operator $\odot$ ()*
2. Funzione globale *operator $\odot$ (x)*

Se  $\odot$  è un operatore binario

1. Funzione membro *operator $\odot$ (x)*
2. Funzione globale *operator $\odot$ (x,y)*

**ATTENZIONE:** si possono usare solo operatori già definiti nel linguaggio e non se ne possono cambiare le proprietà

**ATTENZIONE:** una nuova definizione di un operatore deve avere fra gli argomenti almeno un argomento di un tipo definito dall'utente

## 17.1 Overloading di operatori (II)

Ridefinizione dell'operatore somma per i numeri complessi come funzione membro

```
//file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    complesso operator+(const complesso& );
    /*...*/
};

// file complesso.cpp
/*...*/
complesso complesso::operator+(const complesso& x)
{
    complesso z(re+x.re,im+x.im);
    return z;
}

// file main.cpp
#include<iostream>
#include "complesso.h"
int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4);
    complesso c2 (c1);
    complesso c3 = c1 + c2;
    c3.scrivi(); cout << endl;
    return 0;
} // (6.4, 8)
```

## 17.1 Overloading di operatori (III)

Ridefinizione dell'operatore somma per i numeri complessi come funzione globale

```
//file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    friend complesso operator+(const complesso&,
                               const complesso&);
    /* ... */
};
// file complesso.cpp
/* ... */
complesso operator+(const complesso& x,const
                    complesso& y)
{
    complesso z(x.re+y.re, x.im+y.im);
    return z;
}
// file main.cpp
#include<iostream>
#include "complesso.h"
int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4);
    complesso c2 (c1);
    complesso c3 = c1 + c2;
    c3.scrivi(); cout << endl;
    return 0;
}
// (6.4, 8)
```

428

## 17.1 Overloading di operatori (IV)

Operatori incremento

```
//file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso& operator++();
    complesso operator++(int);
    //argomento fittizio che individua l'operatore postfisso
    /* ... */
};
// file complesso.cpp
/* ... */
complesso& complesso::operator++()
{
    re++; im++;
    return *this;
}
complesso complesso::operator++(int)
{
    complesso app = *this;
    re++; im++;
    return app;
}
```

429



## 17.1 Overloading di operatori (V)

### Operatori incremento

```
// file main.cpp
#include<iostream>
#include "complesso.h"
int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4);
    complesso c2 (c1);
    complesso c3 = c1 + c2;
    c3.scrivi(); cout << endl;
    c1++;
    c1.scrivi(); cout << endl;
    ++c2;
    c2.scrivi(); cout << endl;
    c1+++++++;
    c1.scrivi(); cout << endl;
    ++++++c2;
    c2.scrivi(); cout << endl;

    return 0;
}
```

// (6.4, 8)

// (4.2, 5)

// (4.2, 5)

// (5.2, 6)

// (7.2, 8)

## 17.1 Overloading di operatori (VI)

Tutti gli operatori di assegnamento si ridefiniscono come funzioni membro e restituiscono un riferimento all'oggetto

Nella scelta fra le diverse versioni di una funzione sovrapposta (o di un operatore sovrapposto), il compilatore tiene conto delle possibili conversioni di tipo: queste possono essere conversioni fra tipi fondamentali (implicite o indicate dal programmatore), o conversioni definite dal programmatore che coinvolgono tipi classe.

Non ci sono priorità fra le possibili conversioni. Se esistono diverse possibilità, il compilatore segnala questa ambiguità.

**ATTENZIONE:** non assegnate ad un operatore un significato non intuitivo

**ATTENZIONE:** le versioni predefinite degli operatori assicurano alcune equivalenze. Per esempio,  $++x$  è equivalente a  $x+=1$ . Quando si ridefinisce un operatore, le equivalenze tra gli operatori non valgono automaticamente. Sarà compito del programmatore fare in modo che tali equivalenze vengano rispettate.

## 17.1 Overloading di operatori (VII)

Ambiguità non risolta dal compilatore.

```
//file complesso.h
class complesso
{   double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    complesso operator+(const complesso& );
    operator double(){ return re+im;}
/*...*/
};

// file complesso.cpp
/*...*/
complesso complesso::operator+(const complesso& x)
{
    complesso z(re+x.re,im+x.im);
    return z;
}

// file main.cpp
#include<iostream>
#include "complesso.h"
int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4), c2;
    cout << double(c1) << endl;    // 7.2
    c2 = c1 + 3.0;
    // ERRORE: ambiguous overload for 'operator+' in 'c1 +
    // 3.0e+0' candidates are:
    // operator+(double, double) <built-in>
    // complesso complesso::operator+(const complesso&)

    return 0;
}
```

432

## 17.2 Simmetria tra gli operatori (I)

Gli operatori ridefiniti come funzioni membro non sono simmetrici.

```
//file complesso.h
class complesso
{   double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    complesso operator+(const complesso& );
/*...*/
};

// file complesso.cpp
/*...*/
complesso complesso::operator+(const complesso& x)
{
    complesso z(re+x.re,im+x.im);
    return z;
}

// file main.cpp
#include<iostream>
#include "complesso.h"
int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4), c2;
    c2 = c1 + 3.0;
    // chiamata implicita al costruttore prefinito con
    // argomento attuale 3. Somma tra numeri complessi
    c2 = 3.0 + c1;    // ERRORE

    return 0;
}
```

433

## 17.2 Simmetria tra gli operatori (II)

Per mantenere la simmetria degli operatori (il primo operando possa essere qualsivoglia e non l'oggetto a cui si applica l'operatore) si devono utilizzare funzioni globali.

```
//file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    friend complesso operator+(const complesso& x,
                               const complesso& y);
    friend complesso operator+(const complesso& x,
                               double d);
    friend complesso operator+(double d, const
                               complesso& y);
    /* */
    /* ... */
};

// file complesso.cpp
/* */
complesso operator+(const complesso& x,
                    const complesso& y)
{
    complesso z(x.re+y.re,x.im+y.im);
    return z;
}

complesso operator+(const complesso& x,double d)
{
    complesso z(x.re+d,x.im+d);
    return z;
}
```

## 17.2 Simmetria tra gli operatori (III)

```
// file complesso.cpp
complesso operator+(double d, const complesso& x)
{
    complesso z(x.re+d,x.im+d);
    return z;
}

// file main.cpp
#include<iostream>
#include "complesso.h"
int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4);
    complesso c2 = c1 + 4.0;
    c2.scrivi(); cout << endl;
    c2 = 3.0 + c1;
    c2.scrivi(); cout << endl;
    c2 = 4.0 + 3.0;
    c2.scrivi(); cout << endl;

    // (7.2, 8)
    // (6.2, 7)
    // Costruttore prefinito
    // (7, 0)

    return 0;
}
```

## 17.3 Operatore di assegnamento (I)

**Operatore di assegnamento: predefinito nel linguaggio.**

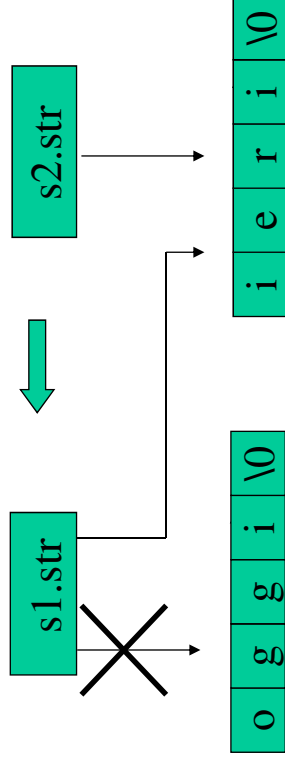
Esegue una copia membro a membro. Deve essere ridefinito in presenza di allocazione dinamica della memoria.

```
// file stringa.h
class stringa
{ char* str;
public:
    stringa(const char s[]);           // distruttore
    ~stringa();                       // costruttore di copia
    stringa(const stringa &);

// ...
};

// file main.cpp
void fun()
{
    stringa s1("oggi");
    stringa s2("ieri");
    s1 = s2;                          // operatore di assegnamento
// ...
}
```

// Al termine della funzione viene richiamato il distruttore due volte. Comportamento dell'operatore delete quando applicato ad un'area già liberata non definito!!!!



436

## 17.3 Operatore di assegnamento (II)

**Operatore di assegnamento deve:**

1. deallocare la memoria dinamica dell'operando a sinistra
2. allocare la memoria della dimensione uguale all'operando destro
3. copiare i membri dato e gli elementi dello heap

**PROBLEMA DI ALIASING:** argomento implicito uguale all'argomento esplicito

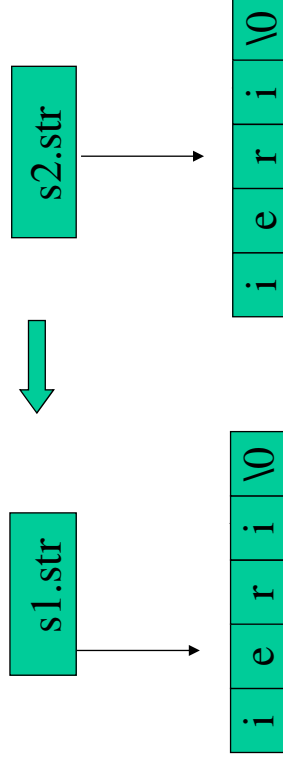
```
s1 = s1

// file stringa.h
class stringa
{ char* str;
public:
    stringa(const char s[]);           // distruttore
    ~stringa();                       // costruttore di copia
    stringa(const stringa &);         // oper. ass
    stringa& operator=(const stringa& s); // oper. ass
// ...
};

// file stringa.cpp
stringa& stringa::operator=(const stringa& s)
{ if (this != &s)                    // CONTROLLO ALIASING
{
    delete[] str;
    str = new char[strlen(s.str)+1];
    strcpy(str, s.str);
}
return *this;
}
```

437

### 17.3 Operatore di assegnamento (III)



#### OTTIMIZZAZIONE:

Se la memoria dinamica ha la giusta dimensione possiamo evitare di deallocare e riallocare la memoria

```
// file stringa.cpp
stringa& stringa::operator=(const stringa& s)
{ if (this != &s)
{
    if (strlen(str) != strlen(s.str))
    {
        delete[] str;
        str = new char[strlen(s.str)+1];
    }
    strcpy(str, s.str);
}
return *this;
}
```

### 17.3 Operatori che si possono ridefinire (I)

Si possono ridefinire tutti gli operatori tranne:

- L'operatore risoluzione di visibilità (::)
- L'operatore selezione di membro (.)
- L'operatore selezione di membro attraverso un puntatore a membro (.\*)

**ATTENZIONE:** gli operatori di assegnamento ('='), di indicizzazione ('[]'), di chiamata di funzione ('()') e di selezione di membro tramite un puntatore ('->') devono essere ridefiniti sempre come funzioni membro.

**ATTENZIONE:** oltre all'operatore di assegnamento, sono predefiniti anche quello di indirizzo ('&') e di sequenza (',').

## 18.1 Costanti e riferimenti nelle classi (I)

Il campo dati di una classe può avere l'attributo `const`: in questo caso il campo deve essere inizializzato nel momento in cui viene definito un oggetto appartenente alla classe stessa

**INIZIALIZZAZIONE**: avviene tramite la lista di inizializzazione del costruttore.

```
// file complesso.h
class complesso
{   const double re;
    double im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    complesso operator+(const complesso&);
    /*...*/
};
```

```
// file complesso.cpp
complesso::complesso(double r, double i) : re(r)
{ im = i;}
// anche permessa la scrittura seguente
// complesso::complesso(double r, double i) : re(r), im(i) {}

complesso :: complesso(const complesso& c) : re(c.re)
{ im = c.im;}
```

**ATTENZIONE**: in una classe si possono dichiarare riferimenti non inizializzati, purché siano inizializzati con la lista di inizializzazione

## 18.2 Membro classe all'interno di classi (I)

In una classe (classe principale) possono essere presenti membri di tipo classe (classe secondaria) diversa dalla classe principale.

```
// file record.h
class record           // classe principale
{
    stringa nome, cognome;
public:
    //....
};
```

Quando viene dichiarato un oggetto appartenente alla classe principale:

1. vengono richiamati i costruttori delle classi secondarie, se definiti, nell'ordine in cui queste compaiono nella dichiarazione dei membri della classe principale;
2. quindi, viene eseguito il corpo del costruttore della classe principale, se definito.

Quando un oggetto appartenente alla classe principale viene distrutto:

1. viene eseguito il corpo del distruttore della classe principale, se definito;
2. Quindi, vengono richiamati i distruttori delle classi secondarie, se definiti, nell'ordine inverso in cui queste compaiono nella dichiarazione dei membri della classe principale.

## 18.2 Membro classe all'interno di classi (II)

Se alcune classi secondarie possiedono costruttori con argomenti formali, anche per la classe principale deve essere definito un costruttore e questo deve prevedere una lista di inizializzazione

```
// file record.h
#include "stringa.h"           // classe principale
class record
{
    stringa nome, cognome;
public:
    record(const char n[], const char c[]);
    // ...
};

// file record.cpp
record::record(const char n[], const char c[])
: nome(n), cognome(c)
{/* .... */}
//...

// file main.cpp
#include "record.h"
int main()
{
    record pers("Mario", "Rossi");
    //...
}
```

## 18.2 Membro classe all'interno di classi (III)

Se alcune classi secondarie prevedono costruttori default, questi vengono richiamati. Se tutte le classi secondarie hanno costruttori default, anche quello della classe principale può essere un costruttore default o mancare (viene usato il costruttore predefinito).

```
// file stringa.h
class stringa
{ char* str;
public:
    stringa(const char s[]="");
    //...
};

// file record.h
#include "stringa.h"           // classe principale
class record
{
    stringa nome, cognome;
public:
    // ...
};

// file main.cpp
#include "record.h"
int main()
{
    record pers;
    //...
}
```

## 18.3 Array di oggetti classe (I)

Un array può avere come elementi oggetti classe: se nella classe sono definiti costruttore e distruttore, questi vengono richiamati per ogni elemento dell'array

```
//file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    //....
};

// file complesso.cpp
complesso:: complesso(double r, double i)
{re = r; im = i;}
/* */

// file main.cpp

#include<iostream>
#include "complesso.h"
using namespace std;
int main()
{
    complesso vc[3];
    for (int i=0; i<3; i++)
        vc[i].scrivi(); cout << endl;
    return 0;
}
```

```
(0, 0)
(0, 0)
(0, 0)
```

444

## 18.3 Array di oggetti classe (II)

Inizializzazione esplicita

```
// file main.cpp
#include<iostream>
#include "complesso.h"
using namespace std;
int main()
{
    complesso vc[5] = {complesso(1.1,2.2),
        complesso(1.5,1.5), complesso(4.1,2.5)};
    for (int i=0; i<5; i++)
        { vc[i].scrivi(); cout << endl;}

    return 0;
}
```

```
(1.1, 2.2)
(1.5, 1.5)
(4.1, 2.5)
(0, 0)
(0, 0)
```

**ATTENZIONE:** se la lista di costruttori non è completa, nella classe deve essere definito un costruttore default, che viene richiamato per gli elementi non esplicitamente inizializzati.

**ATTENZIONE:** se l'array di oggetti è allocato in memoria dinamica, se nella classe è definito un costruttore, questo deve essere necessariamente default, in quanto non sono possibili inizializzazioni esplicite.

445



## 18.4 Membri statici (I)

**Membri dati statici:** modellano informazioni globali, appartenenti alla classe nel suo complesso e non alle singole istanze.

```
// file entity.h
class entity
{ int dato;
public:
// ...
    entity(int n);           //dichiarazione della var. conto
    static int conto;
};

// file entity.cpp
#include "entity.h"
int entity::conto = 0;      //definizione della var. conto

entity::entity(int n)
{ conto++; dato = n; }

// file main.cpp
#include<iostream>
#include "entity.h"
using namespace std;
int main()
{ entity e1(1), e2(2);
  cout << "Numero istanze: " << entity::conto << endl;

  return 0;
}
```

Numero istanze: 2

446

## 18.4 Membri statici (II)

**Funzione membro statica:** operazione che non viene applicata ad una singola istanza della classe, ma svolge elaborazioni sulla classe in quanto tale.

```
// file entity1.h
class entity1
{ int dato;
  static int conto;
public:
// ...
    entity1(int n);
    static int numero();    // Funzione membro statica
};

// file entity1.cpp
#include "entity1.h"
int entity1::conto = 0;

entity1::entity1(int n)
{ conto++; dato = n; }

int entity1::numero()
{ return conto;}

// file main.cpp
//...
int main()
{ entity1 e1(1), e2(2);
  cout << "Num. istanze: " << entity1::numero() << endl;
  cout << "Num. istanze: " << e1.numero() << endl;

  return 0;
}
```

Num. istanze: 2  
Num. istanze: 2

447

## 18.4 Membri statici (III)

Una funzione membro statica non può accedere implicitamente a nessun membro non statico né usare il puntatore `this`.

```
// file entity2.h
class entity2
{ int dato;
  int ident;
  static int conto;
public:
  // ...
  entity2(int n);
  static int numero(); // Funzione membro statica
  static void avanzaConto(int n);
};

// file entity2.cpp
#include "entity2.h"
int entity2::conto = 0;

entity2::entity2(int n)
{ conto++; dato = n; ident = conto;}

int entity2::numero()
{ return conto;}

void entity2::avanzaConto(int n)
{
  conto += n;
  ident = conto++;
  // ERRORE: invalid use of member `entity2::ident' in
  // static member function
}
```

448

## 18.5 Funzioni const (I)

Funzione membro `const`: funzioni che non possono modificare l'oggetto a cui sono applicate. Importanti perché ad oggetti classe costanti possono essere applicate solo funzioni membro costanti.

```
// file complesso.h
class complesso
{
  double re, im;
public:
  complesso(double r = 0, double i = 0);
  double reale();
  double immag();
  //...
};

// file main.cpp

#include <iostream>
#include "complesso.h"
using namespace std;
int main()
{
  const complesso c1 (3.2, 4);
  cout << "Parte Reale " << c1.reale() << endl;
  //ERRORE: c1 e' costante

  return 0;
}
```

449

## 18.5 Funzioni const (II)

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    double reale() const;
    double immag() const;
    //...
};

// file complesso.cpp
double complesso::reale() const {return re;}
double complesso::immag() const {return im;}
//...

// file main.cpp
#include<iostream>
#include "complesso.h"
using namespace std;
int main()
{
    const complesso c1 (3.2, 4);
    cout << "Parte Reale " << c1.reale() << endl;

    return 0;
}
```

Parte Reale 3.2

450

## 18.5 Funzioni const (III)

Il meccanismo di overloading distingue due versioni di una funzione che differiscono solo per la proprietà di essere costanti

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    double reale() const;
    double reale();
    //...
};

// file complesso.cpp
double complesso::reale() const
{cout << "COSTANTE" << endl; return re;}

double complesso::reale() {return re;}
//....

// file main.cpp
//...
int main()
{
    const complesso c1 (3.2, 4);
    complesso c2(3.2,4);
    cout << "Parte Reale " << c1.reale() << endl;
    cout << "Parte Reale " << c2.reale() << endl;
    //...
    NOTARE L'USCITA
}
```

COSTANTE  
Parte Reale 3.2  
Parte Reale 3.2

451

## 18.7 Espressioni letterali

Non è possibile definire espressioni letterali per i tipi definiti dall'utente. I costruttori possono comunque svolgerne la funzione

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    complesso operator+(const complesso& x); //...
};

// file complesso.cpp
complesso complesso::operator+(const complesso& x)
{
    complesso z(re+x.re,im+x.im);
    return z;
}
//....

// file main.cpp
//...
int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4), c2;
    c2 = complesso(0.3,3.0) + c1;
    c2.scrivi(); cout << endl;
    //...
}
```

(3.5, 7)

## 18.8 Conversioni mediante costruttori

Un costruttore che può essere chiamato con un solo argomento viene usato per convertire valori del tipo dell'argomento nel tipo della classe a cui appartiene il costruttore.

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0);
    complesso operator+(const complesso& x); //...
};

// file main.cpp
//...
int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4), c2;
    c2 = c1 + 2.5;
    // Il costruttore trasforma il reale 2.5 nel complesso (2.5,0)
    c2.scrivi(); cout << endl;
    //...
}
```

(5.7, 4)

## 18.8 Operatori di conversione

**Operatore di conversione:** converte un oggetto classe in un valore di un altro tipo.

```
// file complesso.h
class complesso
{
    double re, im;
public:
    operator double();
    operator int();
    //...
};

// file complesso.cpp
complesso::operator double()
{ return re+im;}

complesso::operator int()
{ return static_cast<int>(re+im);}

// file main.cpp
//...
int main()
{
    complesso c1 (3.2, 4);
    cout << (double)c1 << endl;
    cout << (int)c1 << endl;
    //...
}
```

7.2  
7

## 20. Classi per l'ingresso e l'uscita (I)

Le librerie di ingresso/uscita forniscono classi per elaborare varie categorie di stream

**Classe per l'ingresso dati**

```
class istream
{
    // stato: configurazione di bit
public:
    istream(){...};
    istream& operator>>(int&);
    istream& operator>>(double&);
    istream& operator>>(char&);
    istream& operator>>(char*);
    int get();
    istream& get(char& c);
    istream& get(char* buf, int dim, char delim = '\n');
    istream& read(char* s, int n)
    //...
};
```

// (1)  
// (2)  
// (3)  
// (4)

L'oggetto `cin` è un'istanza predefinita della classe `istream`.

- (1) La funzione `get()` preleva un carattere e lo restituisce convertito in intero
- (2) La funzione `get(c)` preleva un carattere e lo assegna alla variabile `c`
- (3) La funzione `get(buf,dim,delim)` legge caratteri dallo stream di ingresso e li trasferisce in `buf` aggiungendo il carattere nullo finale finché nel buffer non vi sono `dim` caratteri o non si incontra il carattere `delim` (che non viene letto).
- (4) La funzione `read(s,n)` legge `n` byte e li memorizza a partire dall'indirizzo contenuto in `s`.

## 20. Classi per l'ingresso e l'uscita (II)

Classe per l'uscita dati

```
class ostream
{ // stato: configurazione di bit
  // ....
public:
  ostream(){...};
  ostream& operator<<(int);
  ostream& operator<<(double);
  ostream& operator<<(char);
  ostream& operator<<(const char*);
  ostream& put(char c)
  ostream& write(const char* s, int n)
  ostream& operator<< (ostream& ( *pf )(ostream&));
  //...
};
```

Gli oggetti `cout` e `cerr` sono istanze predefinite della classe `ostream`.

La funzione `put()` trasferisce il carattere `c` sullo stream di uscita

La funzione `write()` trasferisce la sequenza di `n` caratteri contenuti in `s` sullo stream di uscita.

## 20. Controllo del formato (I)

Controllo del formato: può avvenire attraverso i manipolatori

Manipolatori: puntatori a funzione.

Gli operatori di lettura e scrittura sono ridefiniti per `overloading` in modo da accettare tali puntatori.

```
iostream
endl          \\ ostream& endl ( ostream& os );
              inserisce '\n' e svuota il buffer
cout << x << endl;
dec, hex, oct  selezionano la base di numerazione
cout << 16 << ' ' << oct << 16 << endl;
boolalpha    
```

```
              inserisce o estrae oggetti di tipo booleano come nomi
              (true o false) piuttosto che come valori numerici
cout << boolalpha << true << endl;
```

`iosmanip`

`setw(int)`

numero minimo di caratteri usati per la stampa di alcune rappresentazioni (`w` sta per *width*)

`setfill(char)`

specifica quale carattere prendere per arrivare alla lunghezza desiderata (default: spazio bianco).

`setprecision(int)`

numero di cifre significative (parte intera + parte decimale) per la stampa di numeri reali

I manipolatori hanno effetto fino alla nuova occorrenza del manipolatore; eccetto `setw()` che ha effetto solo sull'istruzione di scrittura immediatamente successiva

## 20. Controllo del formato (II)

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
using namespace std;
int main()
{ double d = 1.564e-2; int i; bool b;
  cout << d << endl;
  cout << setprecision(2) << d << endl;
  cout << setw(10) << d << endl;
  cout << setfill('0') << setw(10) << d << endl;
  cin >> hex >> i; // supponendo di inserire 'b'
  cout << hex << i << 't' << dec << i << endl;
  cin >> oct >> i; // supponendo di inserire "12"
  cout << oct << i << 't' << dec << i << endl;
  cin >> boolalpha >> b; // supponendo di ins. "false"
  cout << b << boolalpha << ' ' << b << endl;
  cout << true << endl;
  return 0;
}
```

```
0.01564
0.016
0.016
000000.016
b
b 11
12 10
12 10
false
0 false
true
```

## 20.2 Controlli sugli stream

Stato di uno stream: configurazione di bit, detti *bit di stato*. Lo stato è corretto (*good*) se tutti i bit di stato valgono 0.

- Bit *fail* – posto ad 1 ogniqualevolta si verifica un errore recuperabile
- Bit *bad* – discrimina se l'errore è recuperabile (0) o meno (1)
- Bit *eof* – posto ad 1 quando viene letta la marca di fine stream

I bit possono essere esaminati con le funzioni seguenti, che restituiscono valori booleani:

- *fail()* – restituisce *true* se almeno uno dei due bit *fail* e *bad* sono ad 1
- *bad()* – restituisce *true* se il bit *bad* è ad 1
- *eof()* – restituisce *true* se il bit *eof* è ad 1
- *good()* – restituisce *true* se tutti i bit sono a 0

I bit possono essere manipolati via software con la funzione *clear()*, che ha per argomento (di default è 0) un valore intero che rappresenta il nuovo valore dello stato.

Possono essere usati i seguenti enumeratori:

- *ios::failbit* – corrisponde al bit *fail* ad 1
- *ios::badbit* – corrisponde al bit *bad* ad 1
- *ios::eofbit* – corrisponde al bit *eof* ad 1

Ogni valore dello stato può essere ottenuto applicando l'operatore OR bit a bit con operandi tali enumeratori.

**NOTA BENE:** Quando uno stream viene posto in una condizione, viene restituito il complemento del risultato della funzione *fail()*.

## 20.3 Uso dei file

Le classi *fstream*, *ifstream* e *ofstream* hanno una struttura simile a quella vista per gli stream di ingresso/uscita.

```
#include<iostream>
#include<fstream>
using namespace std;
int main()
{
    ifstream input("nonEsiste.txt"); char in;
    cout << input.fail() << ' ' << input.bad() << ' '
        << input.eof() << ' ' << input.good() << endl;
    input.clear();
    cout << input.fail() << ' ' << input.bad() << ' '
        << input.eof() << ' ' << input.good() << endl;
    input.clear(ios::badbit);
    cout << input.fail() << ' ' << input.bad() << ' '
        << input.eof() << ' ' << input.good() << endl;
    input.clear();
    input.open("Esiste.txt");
    while (input>in);
    cout << input.fail() << ' ' << input.bad() << ' '
        << input.eof() << ' ' << input.good() << endl;

    return 0;
}
```

```
1 0 0 0
0 0 0 1
1 1 0 0
1 0 1 0
```

460

## 20.4 Ridef. operatori ingresso/uscita(I)

Il meccanismo di overloading permette di ridefinire gli operatori di lettura e di scrittura per i tipi definiti dall'utente.

**ATTENZIONE:** Tali operatori devono essere ridefiniti come funzioni globali.

```
// file complesso.h

#include<iostream>
class complesso
{
    double re, im;
public:
    complesso(double r = 0, double i = 0){re=r;im=i;};
    double reale() const {return re;}
    double immag() const {return im;}
    //...
};

using namespace std;

ostream& operator<<(ostream& os, complesso z);
istream& operator>>(istream& is, complesso& z);
```

461



## 20.5 Ridef. operatori ingresso/uscita(II)

```
// file complesso.cpp
#include "complesso.h"

ostream& operator<<(ostream& os, const complesso& z)
{
    os << '(' << z.reale() << ',' << z.immag() << ')';
    return os;
}

istream& operator>>(istream& is, complesso& z)
{
    double re = 0, im = 0;
    char c = 0;
    is >> c;
    if (c != '(') is.clear(ios::failbit);
    else
    {
        is >> re >> c;
        if (c != ',') is.clear(ios::failbit);
        else
        {
            is >> im >> c;
            if (c != ')') is.clear(ios::failbit);
        }
        z = complesso(re, im);
        return is;
    }
}
```

462

## 20.5 Ridef. operatori ingresso/uscita(III)

```
#include<iostream>
#include "complesso.h"
using namespace std;

int main()
{
    complesso c1(1.0, 10.0);
    complesso c2(1.1, 10.1);
    cout << c1 << '\t' << c2 << endl;
    if (!(cin >> c2))
    {
        cerr << "Errore nella lettura di un numero
                complesso" << endl;
        exit(1);
    }
    cout << c1 << '\t' << c2 << endl;

    return 0;
}
```

```
(1,10) (1.1,10.1)
(2,12)
(1,10) (2,12)
```

463

## 21 Preprocessore (I)

**Preprocessore:** parte di compilatore che elabora il testo del programma prima dell'analisi lessicale e sintattica

- Può includere nel testo altri file
- Espande i simboli definiti dall'utente secondo le loro definizioni
- Include o esclude parti di codice dal testo che verrà compilato

Queste operazioni sono controllate dalle *direttive* per il preprocessore (il primo carattere è #)

Inclusione di file header. Due possibilità:

- Percorso a partire da cartelle standard  
#include <file.h>
- Percorso a partire dalla cartella in cui avviene la compilazione o percorso assoluto  
#include "file.h"

Esempio:

```
#include "subdir\file.h"  
#include "c:\subdir\file.h"
```

## 21 Preprocessore (II)

**Macro**

Simbolo che viene sostituito con una sequenza di elementi lessicali corrispondenti alla sua definizione

```
#define CONST 123  
#define LINUX  
#define MAX(A,B) ((A)>(B) ? (A) : (B))
```

```
int main()  
{  
    int z = 10;  
    X = CONST;           // X = 123  
    Y = MAX(4, (z+2))     // Y = ((4) > (z+2) ? (4) : (z+2))  
}
```

**ATTENZIONE** alle parentesi!!!!

```
#define MAX(A,B) (A)>(B) ? (A) : (B)
```

```
int main()  
{  
    Y = 1 + MAX(1, 3)     // Y = 1 + (1) > (3) ? (1) : (3)  
}
```

Diventerebbe

```
int main()  
{  
    Y = 1 + (1) > (3) ? (1) : (3) // 3 invece di 4, per via della  
                                // maggiore priorità dell'op. +  
                                // rispetto all'op. >  
}
```

## 21 Compilazione condizionale (I)

Compilazione condizionale **#if**, **#elif**, **#else**, **#endif**

```
#if    constant-expression
      (code if-part)
#elif constant-expression
      (code elif-parts)
#elif constant-expression
      (code elif-parts)
#else
      (code else-part)
#endif
```

I valori delle espressioni costanti vengono interpretati come valori logici ed in base a essi vengono compilati o no i frammenti testo (text) seguenti.

Esempio:

```
#define DEBUG_LEVEL 1 // all'inizio del file
```

```
int main(){
#if DEBUG_LEVEL == 2
    cout<<i<<j; // debug di i e j
#elif DEBUG_LEVEL == 1
    cout<<i;    // debug della sola variabile i
#else
    // DEBUG_LEVEL == 0
    (nessuna cout)
#endif
    return 0;
}
```

## 21 Compilazione condizionale (II)

| FORME CONCISE             |     |                                |
|---------------------------|-----|--------------------------------|
| <b>#ifdef</b> identifier  | per | <b>#if</b> defined identifier  |
| <b>#ifndef</b> identifier | per | <b>#if</b> !defined identifier |

**ESEMPIO**

```
// file main.cpp

#define LINUX           // commentare questa riga e
#define WINDOWS        // scommentare questa
                        // per compilare sotto Windows

#include <cstdlib>
#include <iostream>
using namespace std;

int main()
#ifndef LINUX // equivale a '#if defined LINUX'
    system("CLEAR");
#elif defined WINDOWS
    system("CLS");
#else
    cout<<"Sistema operativo non supportato"<<endl;
    exit(1);
#endif
    return 0;
}
```

### DEFINE A RIGA DI COMANDO

Alternativamente, gli identificatori per il processore si possono definire invece che in main.cpp direttamente alla chiamata del compilatore:

```
// Per compilare sotto LINUX
g++ -DLINUX main.cpp -o main.exe
// Per compilare sotto WINDOWS
g++ -DWINDOWS main.cpp -o main.exe
```

## 21 Compilazione condizionale (III)

Altro utilizzo della compilazione condizionale:

evitare che uno stesso file venga incluso più volte in una unità di compilazione. Ogni file di intestazione, per esempio *complesso.h*, dovrebbe iniziare con le seguenti direttive

```
-----  
// file complesso.h  
#ifndef COMPLESSO_H  
#define COMPLESSO_H  
// qui va il contenuto vero e proprio del file  
class complesso{  
    double re, im;  
public:  
    // funzioni della classe complesso  
};  
#endif
```

```
-----  
// file main.cpp  
#include "complesso.h"  
#include <iostream>  
#include "complesso.h"
```

```
int main(){  
    complesso c;  
    return 0;  
}
```

L'aggiunta erronea di questo secondo include ora non causa più il problema di ridefinizione della classe *complesso*, perché la definizione della classe *complesso* viene inclusa solo la prima volta

**Università di Pisa**  
**Corso di Laurea in Ingegneria Informatica**

**Note sull'ambiente di lavoro utilizzato nei  
Laboratori di Fondamenti di Informatica I**

a cura di  
**Marco Cococcioni**

## Un po' di terminologia (1/2)

|                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Processore (anche detto CPU-Central Processing Unit)</b>    | Unità di calcolo centrale del calcolatore. Si tratta del cuore di un personal computer, perché è l'unità che effettua tutte le operazioni fondamentali: lettura/scrittura in memoria, operazioni aritmetiche e logiche, esecuzioni di istruzioni, ecc... I processori possono essere significativamente diversi fra loro e generare incompatibilità di software. Alcuni dei principali produttori di processori sono: Intel, AMD, ARM e NVIDIA.                                                     |
| <b>Memoria centrale (anche detta RAM)</b>                      | Dispositivo che permette la memorizzazione temporanea dell'informazione, in unità elementari delle celle, ciascuna delle quali è dotata di un proprio indirizzo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Memoria di massa (anche detto disco rigido – hard disk)</b> | Dispositivo che consente di salvare dell'informazione in maniera persistente nel calcolatore, in modo che sia disponibile anche dopo lo spegnimento del calcolatore.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Periferiche di ingresso e uscita</b>                        | Sono i dispositivi utilizzati per inserire informazioni dentro al calcolatore (tastiera, mouse, ecc...) e per portare verso l'esterno i risultati dell'elaborazione (monitor, casse audio, ecc...)                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Sistema operativo</b>                                       | Software che serve a rendere facilmente utilizzabili al programmatore le risorse di calcolo (CPU, memoria centrale, ecc...) e le periferiche di ingresso e uscita disponibili, senza doversi preoccupare dei relativi dettagli hardware. In questo laboratorio si utilizzerà il sistema operativo Linux Debian. Altri sistemi operativi popolari sono: Windows 7/8 (Microsoft), Mac Os X (Apple) (Linux e Mac Os X sono basati sullo stesso predecessore: Unix).                                    |
| <b>File (anche detto archivio)</b>                             | In un calcolatore le informazioni (sequenze di bit) vengono memorizzate all'interno di archivi logici detti file. I file si distinguono in <b>file ASCII</b> (sequenza di caratteri) e <b>file binari</b> (sequenza di numeri/codici). Un'altra distinzione possibile è in <b>file eseguibili</b> e <b>file non eseguibili</b> . Scopo della programmazione è scrivere file eseguibili dal calcolatore partendo da file ASCII contenenti istruzioni di un particolare linguaggio di programmazione. |
| <b>Directory (anche detta cartella o folder)</b>               | Contenitore logico di file. Utilizzato per organizzare i file in maniera gerarchica, all'interno della directory principale (directory root: "/")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>File System</b>                                             | Meccanismo fornito dal sistema operativo per la creazione di file e di directory, per la gestione della loro organizzazione logica all'interno di una struttura ad albero, per il controllo degli accessi, il controllo dell'integrità, ecc...                                                                                                                                                                                                                                                      |

# Un po' di terminologia (2/2)

|                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Directory root ('/')                                                                            | Directory principale del File System (radice, letteralmente). Tutte le altre sono sotto-directory di root. Per spostarsi nella directory di root dare il seguente comando: <b>cd /</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Directory home                                                                                  | Per accedere al sistema operativo occorre autenticarsi con nome utente e password. Ad ogni utente corrisponde una directory speciale, detta directory home, dove può creare e cancellare file e directory a piacimento (infatti le directory di sistema non sono modificabili). Tale directory è /home/nomeUtente ( <b>/home/studenti</b> , nel nostro caso).                                                                                                                                                                                                          |
| File Manager (anche detto file browser, o esplora risorse)                                      | Si tratta di un programma dotato di interfaccia grafica (GUI-Graphical User Interface) che permette di gestire i file e le cartelle (creazione, cancellazione, spostamento) comodamente utilizzando il mouse. Linux Debian mette a disposizione thunar come FM ( <b>thunar nomeDir</b> ).                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Programma (detto anche file eseguibile o applicazione)                                          | Sequenza di operazioni eseguibili da un certo calcolatore (ossia da uno specifico sistema operativo ed uno specifico processore).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| GUI (Graphical User Interface)                                                                  | I programmi dotati di GUI sono quelli che sono dotati di una interfaccia grafica che facilita l'interazione con il programma attraverso bottoni ed altri elementi grafici.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Console (anche detta finestra terminale, terminal window, finestra di comando, riga di comando) | Si tratta di un particolare programma eseguibile che permette di inviare comandi al sistema operativo (esempi: <b>ls</b> , <b>pwd</b> , <b>cat nomeFile</b> ). Inoltre possono essere posti in esecuzione dei file eseguibili creati dall'utente, lanciando il comando: <b>./nomeFileEseguibile</b><br>Quando si apre una finestra di comando essa ci posiziona in un punto preciso del file system (tipicamente la directory home). La directory corrente può essere visualizzata con il comando <b>pwd</b> e cambiata con il comando: <b>cd nomeNuovaDirectory</b> . |
| Ambiente Desktop                                                                                | Si tratta di un insieme di programmi che fornisce una interfaccia grafica al sistema operativo, presentandolo come una sorta di scrivania (Desktop), dotata di un menu start.<br>In laboratorio viene utilizzato <b>Xfce</b> versione 4 (si avvia con il comando <b>startxfce4</b> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Editor                                                                                          | Programma che consente di creare, modificare e salvare file ASCII. L'editor di riferimento del corso è <b>gedit</b> . Un editor alternativo è Mousepad, ma ne viene sconsigliato l'uso.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Compilatore e Linker                                                                            | Sono i due programmi chiave con cui è possibile generare un file eseguibile partendo da un file ASCII. Nel caso di programmi C++ la compilazione ed il collegamento (linking) avvengono mediante la chiamata al programma <b>g++</b> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Debugger                                                                                        | Programma per la verifica della correttezza di un programma scritto dall'utente. In laboratorio verrà utilizzato il Data Display Debugger.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

3 /16

## L'ambiente di sviluppo utilizzato a laboratorio

| Ambiente di sviluppo utilizzato a laboratorio |                                                           |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Sistema operativo utilizzato                  | Linux (distribuzione Debian)                              |
| Compilatore                                   | g++, versione 4.4.5                                       |
| Debugger                                      | gdb (gnu debugger)                                        |
| Debugger Grafico                              | Data Display Debugger (ddd) - interfaccia grafica per gdb |
| Ambiente Desktop                              | Xfce versione 4 (startxfce4)                              |
| File Manager Grafico                          | thunar                                                    |

L'immagine «iso» di un DVD «bootable», ossia avviabile, può essere scaricata al seguente link:

<http://www.iet.unipi.it/m.cococcioni/FondamentiDiInformatica/debian.iso>

Le istruzioni su come effettuare la masterizzazione dell'immagine affinché risulti «bootable» si possono reperire qui:

<http://www.iet.unipi.it/m.cococcioni/FondamentiDiInformatica>

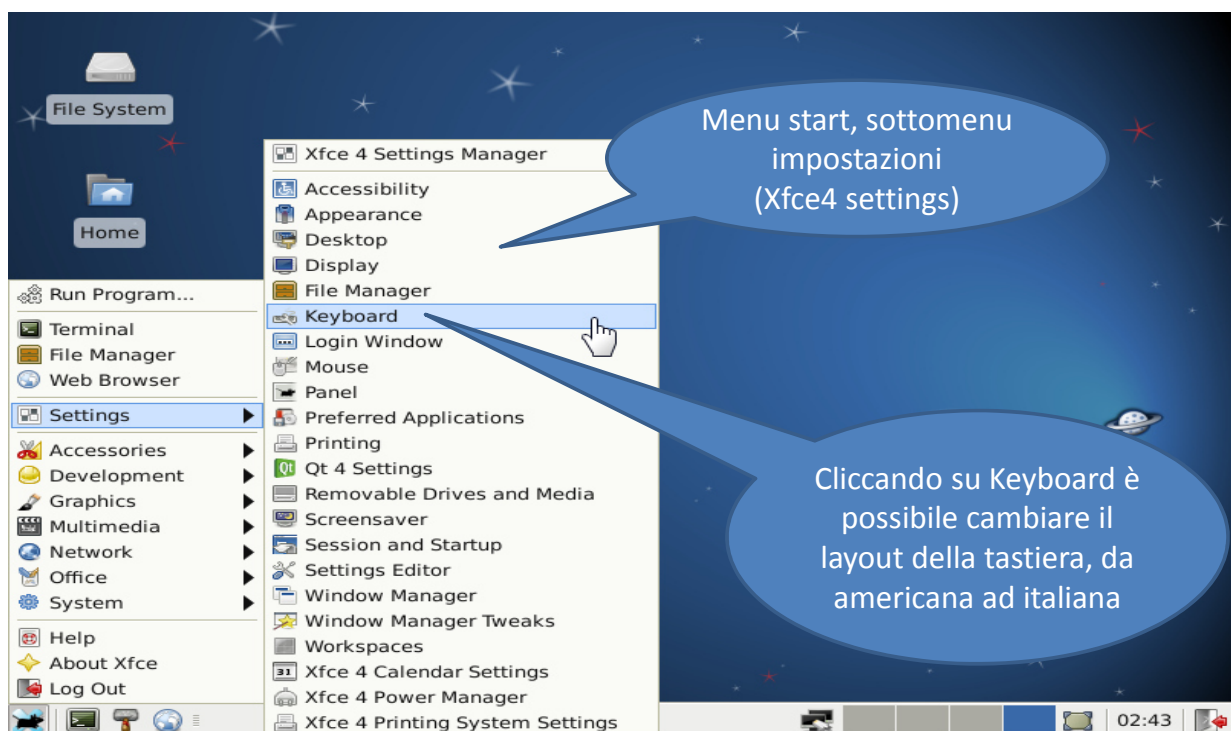
4 /16

## Un'occhiata al sistema operativo Linux Debian ed al desktop manager Xfce



5 / 16

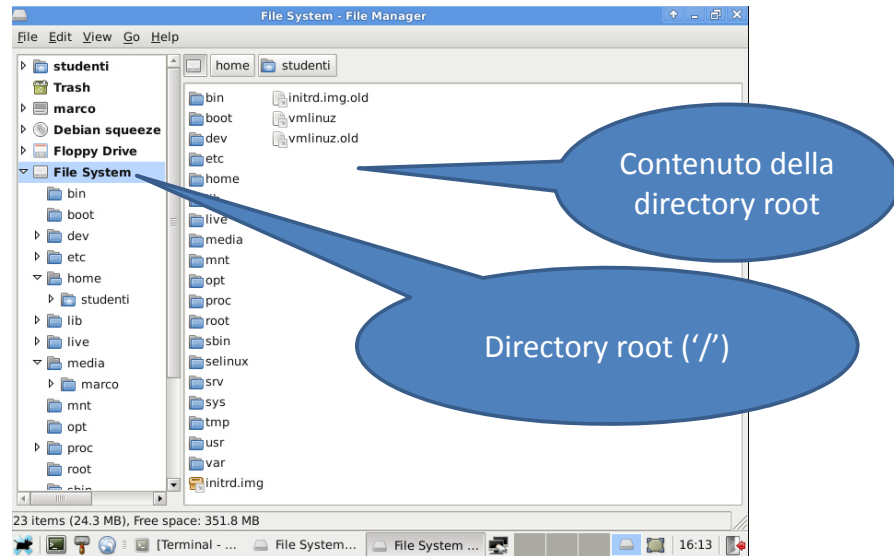
## Il Menu Start (di Xfce)



6 / 16

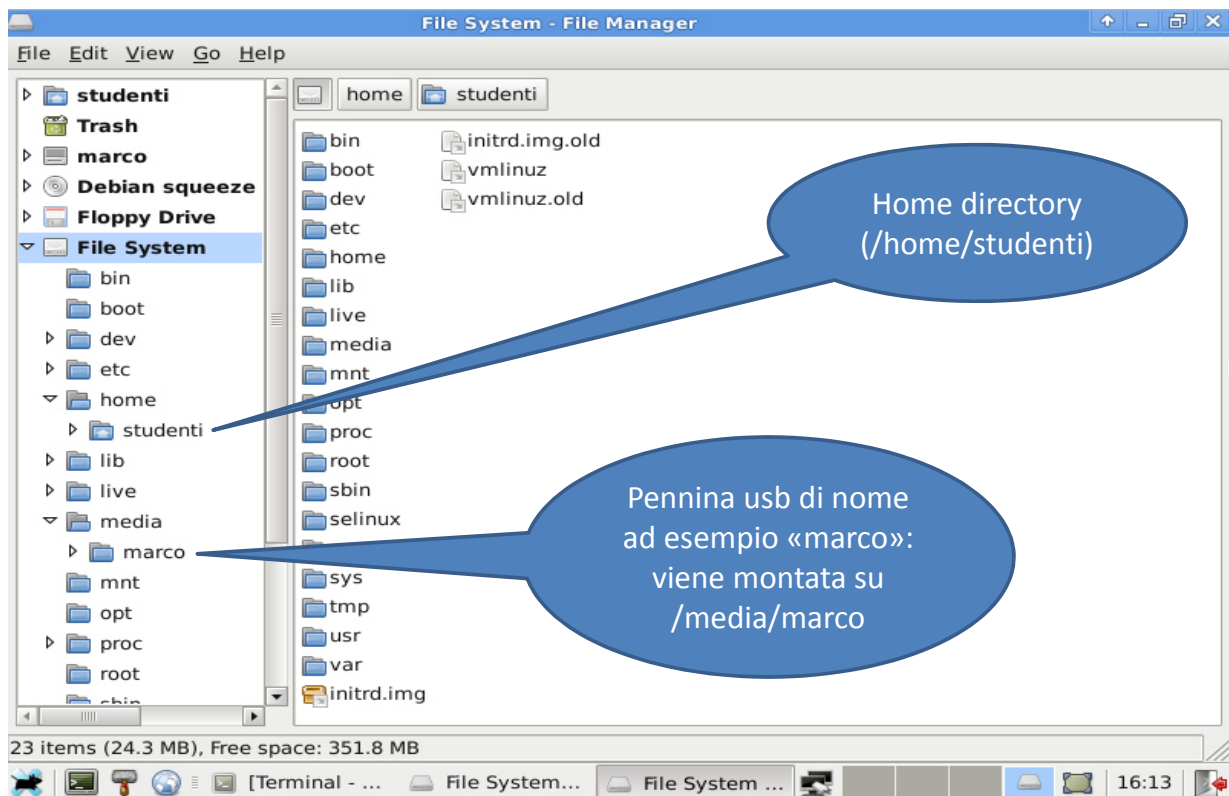
# Organizzazione delle directory (1/4)

Linux Debian implementa molto fedelmente in **File System Standard** dei sistemi unix-like. Questo standard definisce il nome e la posizione delle directory del File System



7 / 16

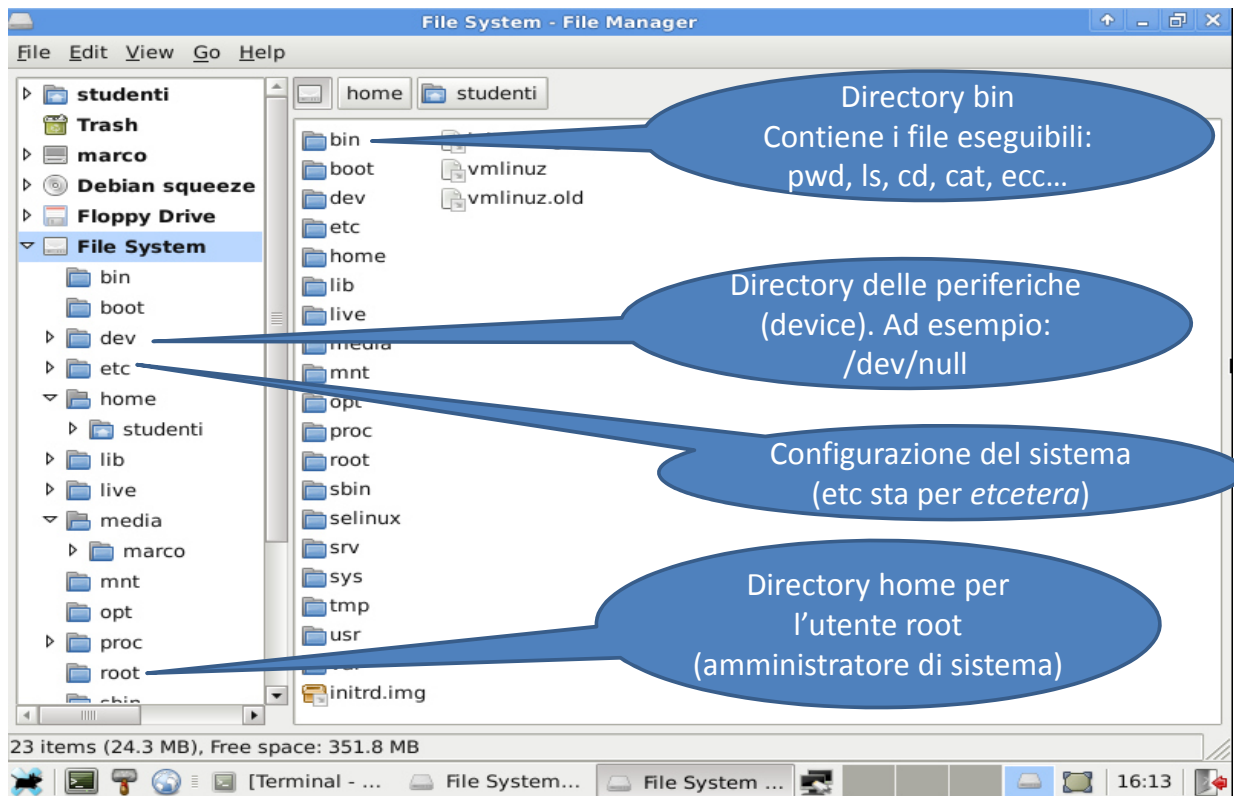
# Organizzazione delle directory (2/4)



8 / 16

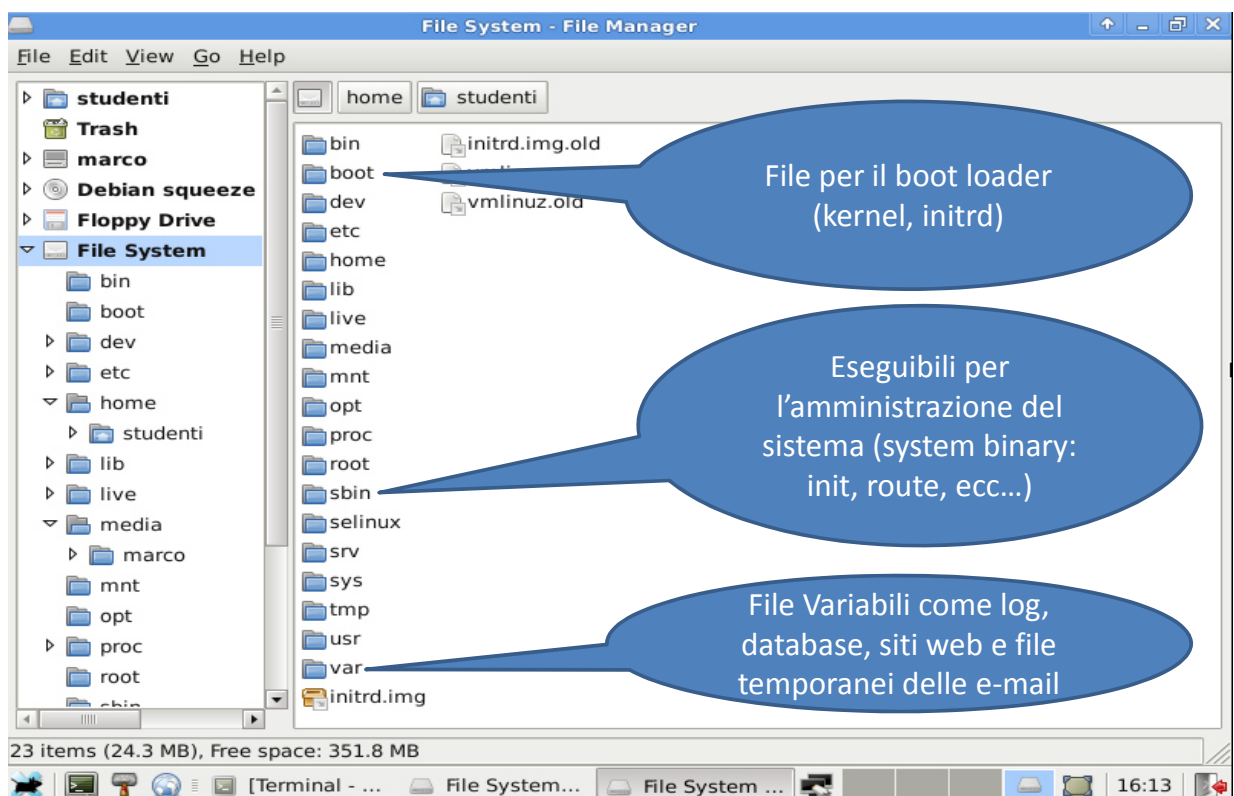


## Organizzazione delle directory (3/4)



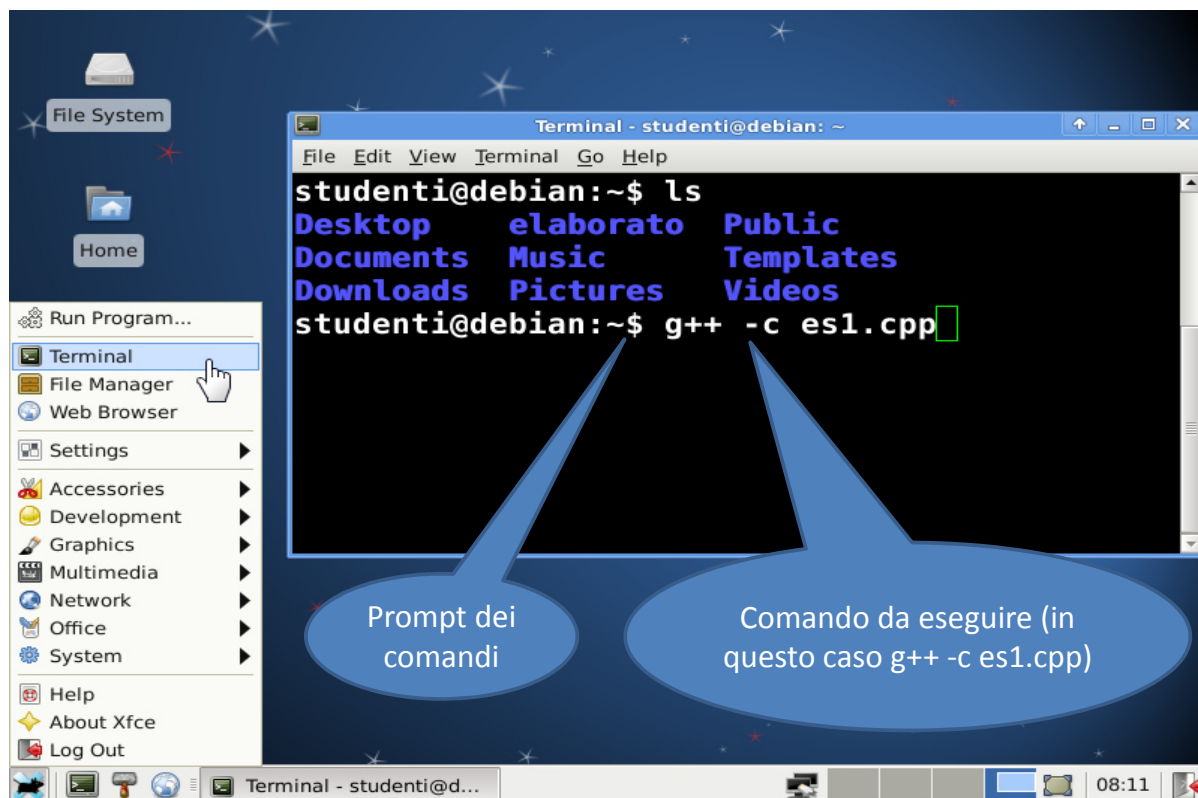
9 / 16

## Organizzazione delle directory (4/4)



10 / 16

# La console (finestra terminale)



11 / 16

## Comandi base per la console

| Comandi base          |                                                                                                                                                                               |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>pwd</b>            | Mostra il percorso ( <i>path</i> ) della directory corrente, ossia della <i>working directory</i> (pwd sta per <i>path of the working directory</i> )                         |
| <b>ls</b>             | Mostra i file e le directory presenti nella directory corrente. <b>ls -al</b> mostra anche i file nascosti e altre informazioni sui file/directory (dimensione, data, ecc...) |
| <b>cd percorso</b>    | Fa sì che la nuova directory corrente sia <i>percorso</i> .<br>Esempio: 'cd /media' ci porta su '/media'.<br>Invece 'cd ..' ci sposta nella directory superiore.              |
| <b>cp file1 file2</b> | Copia file1 in file2.                                                                                                                                                         |
| <b>mv file1 file2</b> | Rinomina file1 come file2. Vale anche per directory.                                                                                                                          |
| <b>rm nomeFile</b>    | Cancella il file <i>nomeFile</i> . Il file non può più essere recuperato, in quanto non finisce nel cestino.                                                                  |
| <b>cat nomeFile</b>   | Mostra a video il file <i>nomeFile</i> .                                                                                                                                      |
| <b>mkdir nomeDir</b>  | Crea la nuova directory <i>nomeDir</i> .                                                                                                                                      |
| <b>rmdir nomeDir</b>  | Cancella la directory <i>nomeDir</i> , purché sia vuota.                                                                                                                      |
| <b>rm -r nomeDir</b>  | Rimuove la directory dopo averla svuotata.                                                                                                                                    |
| <b>./nomeFile</b>     | Esegue <i>nomeFile</i> , qualora esso sia un file eseguibile presente nella directory corrente (per renderlo eseguibile: <b>chmod +x nomeFile</b> ).                          |
| <b>clear</b>          | Pulisce lo schermo.                                                                                                                                                           |
| <b>g++ -c esX.cpp</b> | Compila <i>esX.cpp</i> (produce file binario in codice oggetto <i>esX.o</i> ).                                                                                                |
| <b>g++ esX.o</b>      | Collega (linking) il file <i>esX.o</i> e produce l'eseguibile <i>a.out</i> (per eseguirlo: <b>./a.out</b> ).                                                                  |

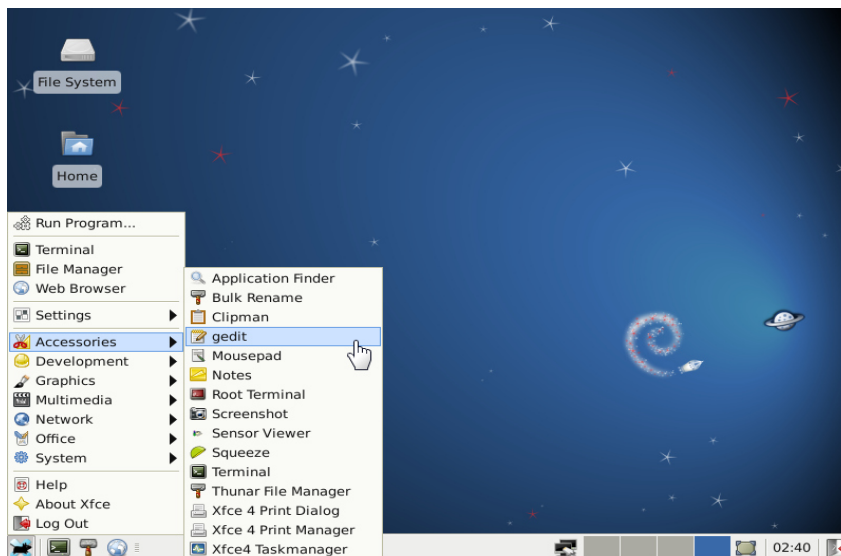
12 / 16

# Altri comandi per la console

| Comandi avanzati                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>more nomeFile</code>            | Alternativa a cat: mostra a video <i>nomeFile</i> , una pagina per volta. Si passa alla pagina successiva premendo la barra spaziatrice. Si esce con <i>q</i> .                                                                                                                |
| <code>PS1="nuovo prompt"</code>       | Comando per cambiare il prompt (es.: <code>PS1="\$ "</code> ).                                                                                                                                                                                                                 |
| <code>Ctrl + C</code>                 | Interrompe il processo in esecuzione (utile per terminare programmi errati che vanno in ciclo o quando un programma non risponde)                                                                                                                                              |
| <code>ps</code>                       | Visualizza i programmi attualmente in esecuzione (i così detti processi). Ad ogni processo è assegnato un numero univoco X.                                                                                                                                                    |
| <code>ps -A</code>                    | Visualizza tutti i processi, compresi quelli di sistema.                                                                                                                                                                                                                       |
| <code>kill X</code>                   | Termina il processo avente numero X.                                                                                                                                                                                                                                           |
| <code>tree</code>                     | Visualizza il sotto-albero della directory corrente in maniera grafica.                                                                                                                                                                                                        |
| <code>find -name nomeFile</code>      | Mostra il percorso del file <i>nomeFile</i> qualora si trovi nella directory corrente o in una delle sue sottodirectory (equivale al comando windows <code>dir /s nomeFile</code> )<br>Esempi: <code>find -name *.cpp</code> , <code>find /home/studenti -name main.cpp</code> |
| <code>chmod +x nomeFile</code>        | Rende eseguibile il file <i>nomeFile</i> (x sta per eXecutable). Altre opzioni interessanti del comando sono: <code>chmod +w nomeFile</code> (lo rende modificabile), <code>chmod -w nomeFile</code> rende il file accessibile in sola lettura.                                |
| <code>iceweasel sitoWeb</code>        | Apre la pagina web <a href="http://sitoWeb">http://sitoWeb</a> usando il browser <b>iceweasel</b>                                                                                                                                                                              |
| <code>epdfview nomeFilePdf</code>     | Visualizza il file pdf <i>nomeFilePdf</i> ( <b>ePDFViewer</b> è una alternativa ad Acrobat Reader)                                                                                                                                                                             |
| <code>cmd --help</code>               | Fornisce l'help per il comando <i>cmd</i> (Es: <code>ls --help</code> )                                                                                                                                                                                                        |
| <code>soffice -impress filePpt</code> | Visualizza il file Power Point <i>filePpt</i> , mediante <b>Open Office Impress</b>                                                                                                                                                                                            |

13 /16

## L'editor (gedit)



Può essere avviato anche da riga di comando:

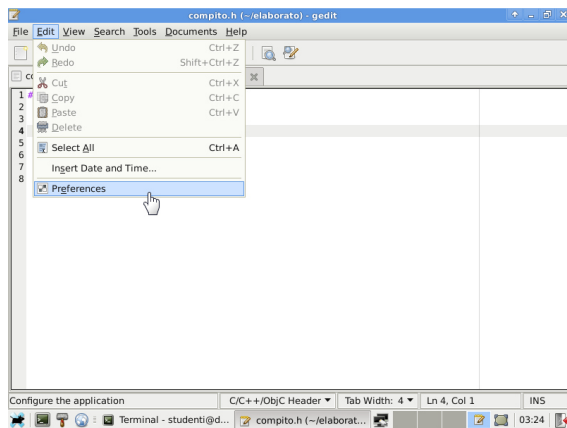
**gedit nomefile**

Un modo molto conveniente di avviare gedit è il seguente:

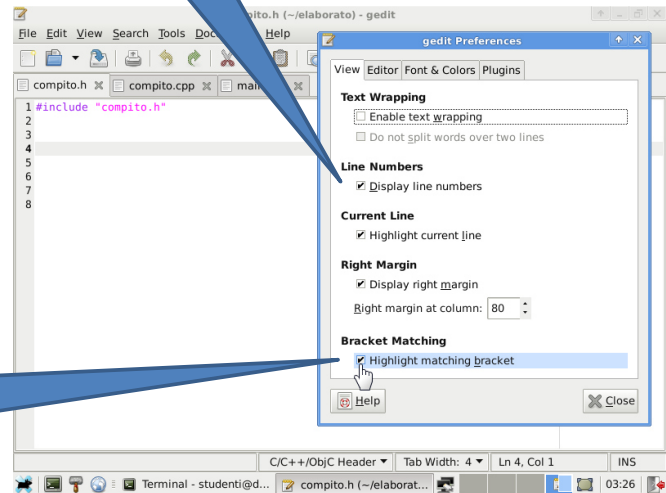
**gedit main.cpp compito.cpp compito.h & >/dev/null**

14 /16

# Cambiare le impostazioni di gedit



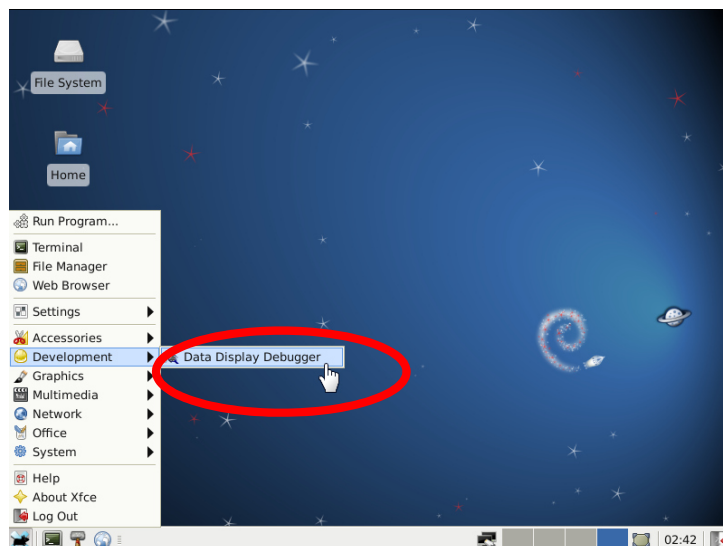
Visualizza il numero di riga (molto utile in fase di debug)



Visualizza la parentesi chiusa (aperta) corrispondente ogni volta che il mouse si trova sopra una parentesi aperta (chiusa)

15 / 16

## Il Debugger Grafico (ddd)



Può essere avviato anche da riga di comando:

**ddd esercizio.exe**

purché l'eseguibile contenga le informazioni di debug, ossia sia stato compilato con opzione -g: **g++ -g -o esercizio.exe esercizio.cpp**

16 / 16

**Università di Pisa**  
**Corso di Laurea in Ingegneria Informatica**

**Guida al Debugging  
di programmi C, C++ e Assembler  
utilizzando il Data Display Debugger  
(DDD)**

a cura di  
**Marco Cococcioni**

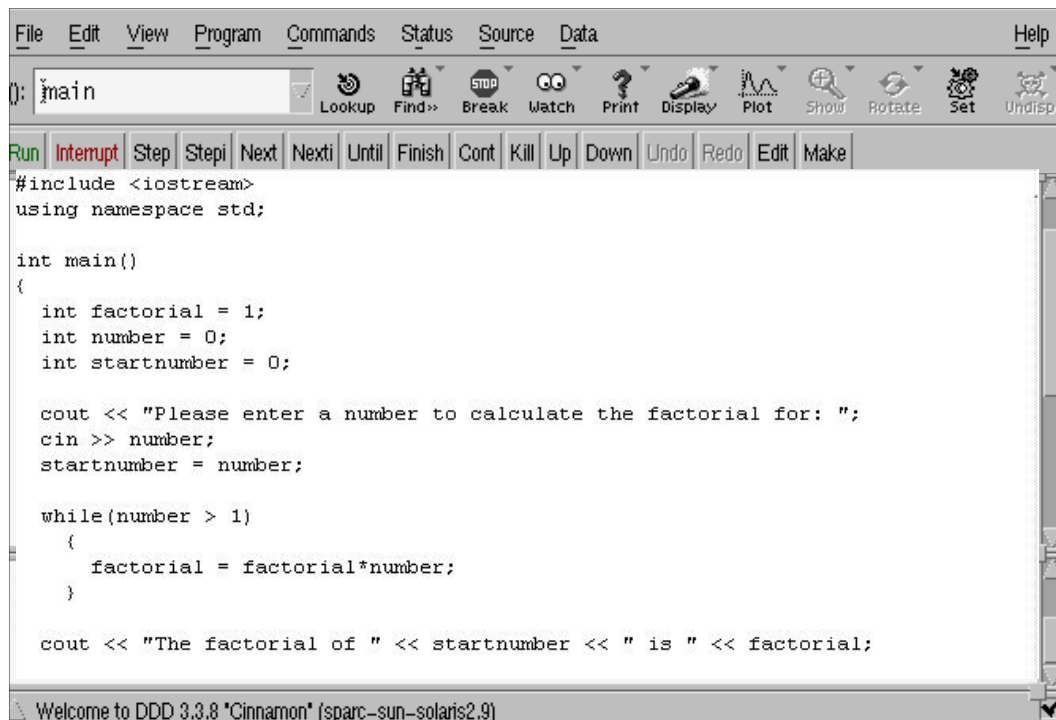
## Cos'è DDD

- DDD sta per Data Display Debugger
- DDD è una interfaccia grafica (GUI) per lo GNU debugger, un programma di debug disponibile alla riga di comando.
- Come si avvia DDD alla riga di comando?
- Passo 1: compilare e linkare inserendo le informazioni per il debugger (opzione -g):  

```
$ g++ -g es1.cpp -o es1.exe
```
- Passo 2: avviare ddd:  

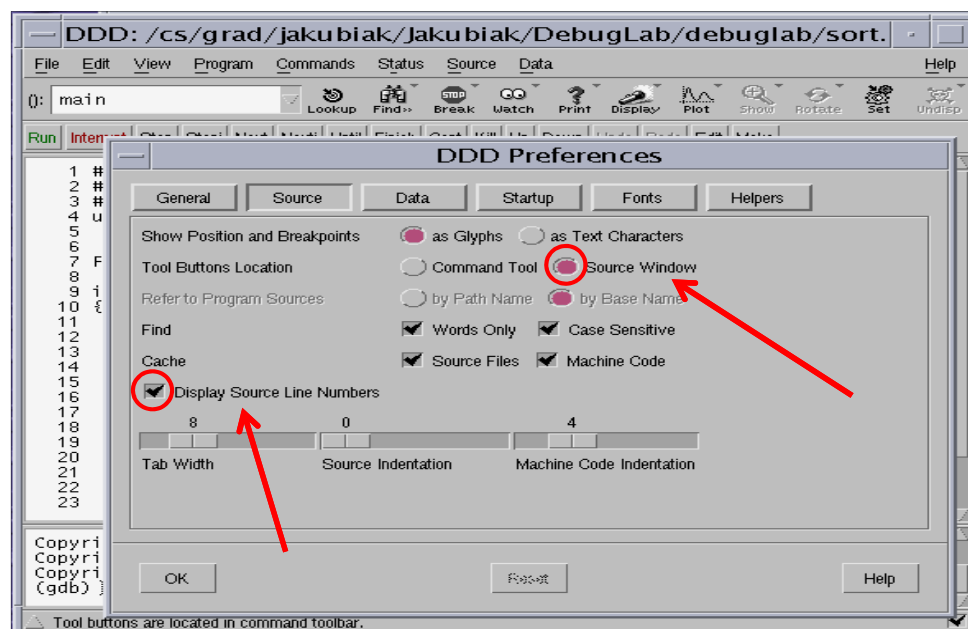
```
$ ddd es1.exe &
```

# Come appare DDD



## Customizzazione di DDD

- Numero di riga: *Source* → *Display Line Numbers*
- Ancoraggio della barra degli strumenti: *Edit* → *Preferences*



# Come impostare i punti di interruzione

- Prima di mettere in esecuzione il programma occorre impostare uno o più **punti di interruzione** (*breakpoints*), altrimenti una volta avviato andrebbe immediatamente alla fine
- Per impostare un breakpoint:
  - **click-pulsante-destro** alla linea in cui si desidera impostare l'interruzione
  - Selezione dell'opzione **Set Breakpoint**
  - (ora dovrebbe comparire un segnale di stop all'inizio di quella linea)

# Avvio del programma da debuggare

- In cima allo schermo, selezionare il bottone "Run" per avviare il programma
  - Run può anche essere trovato nel menu 'program'
- Il programma si arresterà in corrispondenza della riga in cui è posizionato il breakpoint
  - (La linea nera indica la prossima riga che verrà eseguita)

# Next, Hover, e Step

- Usare *Next* per muoversi nel programma una riga alla volta
- Dopo ogni *Next* è possibile posizionare il cursore sopra una variabile per vederne il valore
  - Questa operazione è chiamata *hovering*
- *Step* può essere usata in alternativa a *Next*
  - *Step* fa andare il programma una riga avanti, ma nel caso di chiamata di funzioni ci fa eseguire passo passo anche la funzione
  - *Next* fa andare il programma una riga avanti. Nel caso di chiamata di funzione, salta la chiamata e ci porta alla riga successiva alla chiamata stessa.

## Correzione del programma (*Bug Fixing*)

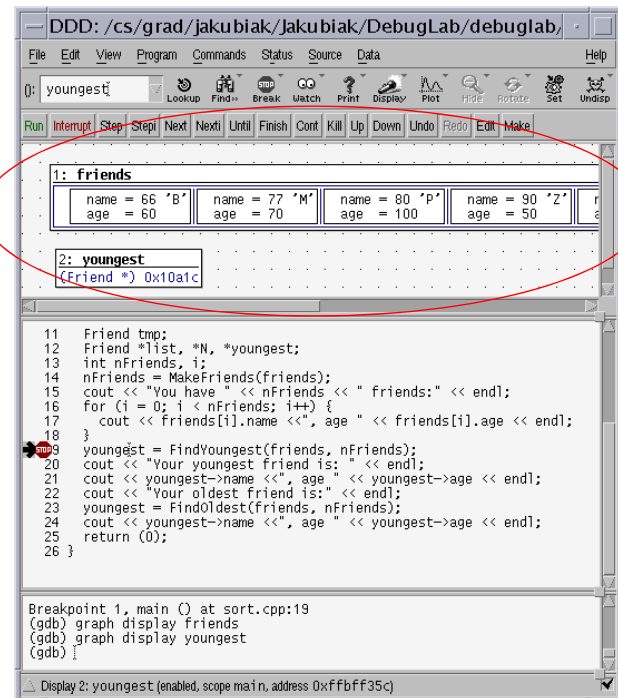
- Per correggere il programma, una volta rilevato l'errore (baco):
  - chiudere DDD
  - aprire il file sorgente usando l'editor (gedit es1.cpp)
  - correggere il programma
  - ricompilare e rilinkare con opzione -g
  - riaprire l'eseguibile con DDD





# Ispezione delle variabili (1/2)

- Fare click sul pulsante destro sopra una variabile e poi scegliere **Display** *nomeVariabile*
  - questo provoca l'apertura del *display editor*
- Fare ancora click sul pulsante destro sopra al nome della variabile e scegliere **Display \*nomeVariabile** (*notare l'asterisco*)



# Ispezione delle variabili (2/2)

- Le variabili possono essere visualizzate nell'area di display in diverse rappresentazioni:
  - `/t nomeVar` : binario
  - `/d nomeVar` : decimale
  - `/x nomeVar` : esadecimale
  - `/o nomeVar` : ottale
- Nel caso di programmi assembler si può visualizzare nella finestra di display (quella in alto) il contenuto dei registri come fossero variabili:
  - `/t $eax`: mostra eax in bin
  - `/d $ebx`: mostra ebx in decimale, ecc...
- Il contenuto dei registri può essere visualizzato anche nella finestra console di dello GNU debugger (GDB), nel seguente modo:
  - `i r eax` (che sta per info register eax)
- NB1: qui non serve \$, né %, prima del nome del registro
- NB2: esiste una limitazione: il contenuto dei registri a 8 e 16 bit (al, ah, ax, bl, ...) non può essere visualizzato

# Per tornare indietro nell'esecuzione

- Per andare indietro rispetto alla linea di interruzione
  - clickare e trascinare la freccia in alto, alla linea desiderata

