Materiale didattico di supporto alle lezioni del corso di

Fondamenti di Programmazione

Docenti:
Marco Cococcioni
Pericle Perazzo
Carlo Puliafito
Lorenzo Fiaschi

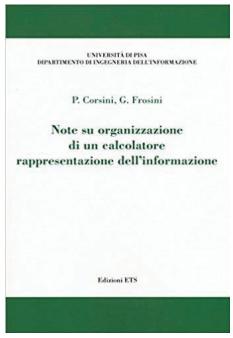
Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Scuola di Ingegneria – Università di Pisa

Anno Accademico 2023-2024

Libri di testo consigliati

1. 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)

2. Paolo Corsini e Graziano Frosini
   Note sull'organizzazione di un calcolatore e Rappresentazione dell'informazione
   Edizioni ETS, Pisa, 2011.



3. Raccolta di slide delle lezioni in formato pdf (*la presente dispensa*)

Dove si possono acquistare i libri di testo

Presso le principali librerie di Pisa

- Libreria Pellegrini (via Curtatone e Montanara, 5)
  http://www.libreriapellegrini.it/

- Libreria Testi Universitari (via Nelli, 1-3 oppure via Santa Maria 14)
  https://www.libreriatestiuniversitari.it/

  ...

- oppure su Amazon

Orario settimanale

	Lu	Ma	Me	Gi		Ve
08:30-09:30			FdP **TEO** (3h) F9			
09:30-10:30						
10:30-11:30		FdP **TEO** (2h) F9				
11:30-12:30						
12:30-13:30						
14:00-15:00						
15:00-16:00				FdP **TEO** (1h) F9		
16:00-17:00				FdP **LAB** (2h) Gruppo A A13	FdP **LAB** (2h) Gruppo B F9	
17:00-18:00						

Gruppo A: studenti aventi matricola che termina per 0,1,2,3
Gruppo B: studenti aventi matricola che termina per 4,5,6,7,8,9

Argomenti del corso

- **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.

- **Rappresentazione dell'informazione**

Rappresentazione dei caratteri, dei numeri naturali, dei numeri interi e dei numeri reali.

- **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.

Definizione di informatica

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 porta 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.

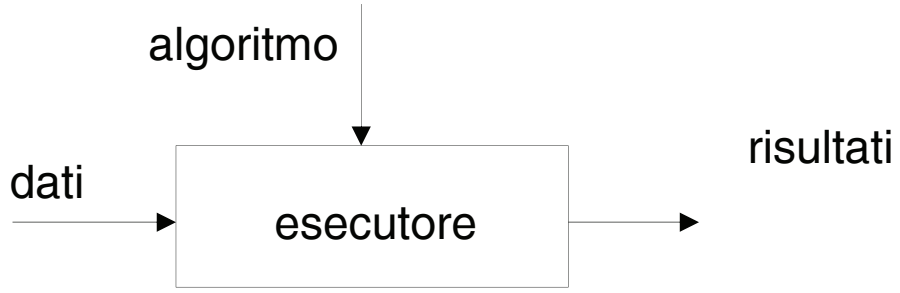
3. **Operazioni iterative**

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

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)

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*

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 togli da *P* e da *Q* la prima lettera
- **se** trovato vale 0 **allora** scrivi falso

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 corrispondeza degli stessi valori del dominio di ingressso 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

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

Algoritmo (7)

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: **MCD(m,n) = MCD((m-n),n)**

Algoritmo

- **ripeti finché** (*M != 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 (8)

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

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.

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 operazionale)
- mediante funzioni matematiche (semantica denotazionale)
- mediante formule logiche (semantica assiomatica)

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**

Grammatiche

Grammatica G = <V, VN, P, S>

V insieme finito di simboli terminali (ossia entità **atomiche** e **predefinite**)

VN insieme finito di simboli non terminali (sono detti anche "categorie sintattiche")

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.

Grammatica BNF (1)

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

X
$A_1\ A_2\ ...\ A_n$

dove ***X*** è un simbolo non terminale ed $A_1\ A_2\ ...\ A_n$ è una sequenza di simboli (terminali oppure non terminali).

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

Si dice che A deriva da ***X*** se esiste una sequenza di derivazioni da ***X*** ad A

Altra regola di produzione (unica alternativa all'interno di un insieme dato):

X
one of // **one of** è un costrutto del metalinguaggio. Indica che ***X***
$A_1\ A_2\ ...\ A_n$ // può assunere **una unica alternativa** tra $A_1, \ldots, A_n$

Grammatica BNF (2)

G = <V, VN, P, S>

V = {lupo, canarino, bosco, cielo, mangia, vola, canta, ., il, lo}
VN = {***frase***, ***soggetto***, ***verbo***, ***articolo***, ***nome***}
S = ***frase***

Notare che il punto è un simbolo terminale che in questo è stato inserito nell'alfabeto

Produzioni P

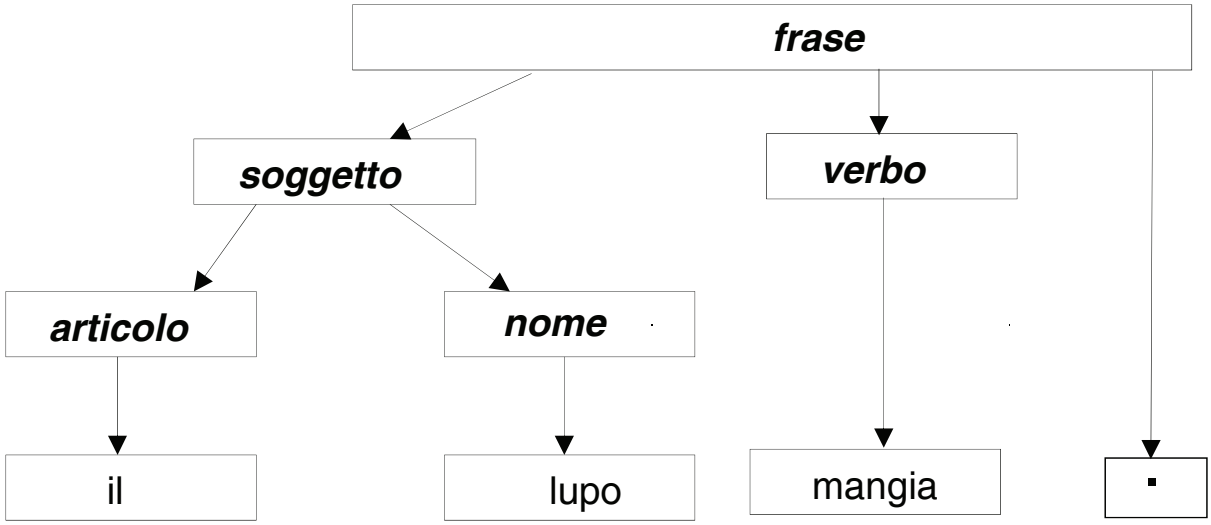
frase
    soggetto verbo .
soggetto
    articolo nome
articolo
    one of
    il lo
nome
    one of
    lupo canarino bosco cielo
verbo
    one of
    mangia vola canta

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

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 mediante BNF.

Altri costrutti del matalinguaggio: gli elementi opzionali (1/2)

Un altro costrutto molto comodo del metalinguaggio è la **presenza opzionale** di un simbolo (terminale o non terminale).

X

A_1 **|opt** A_2

indica che ***X*** può essere riscritto sia come

A_1 A_2

che come

A_2

in quanto A_1 è opzionale.

Analogamente

X

A_1 A_2 **|opt**

indica che ***X*** può essere riscritto sia come

A_1 A_2

che come

A_1

Altri costrutti del matalinguaggio: la sequenza (2/2)

Un altro costrutto molto comodo del metalinguaggio è la **sequenza**.

Sia A un simbolo terminale oppure non terminale.
Indicheremo con

A-seq

una sequenza di tali simboli (di lunghezza maggiore o uguale ad uno)

Esempio:

nome-seq sarà una sequenza di simboli non terminali nome:

nome //ok

nome nome … nome // ok

Pertanto

lupo canarino lupo lupo

è coerente con la regola di produzione ***nome-seq***

Se non esistesse come costrutto predefinito del metalinguaggio, potremmo introdurre noi il nuovo simbolo non terminale ***nome-seq*** così:

nome-seq
***nome nome-seq*|opt**

Esempio di grammatica per produrre numeri interi (1/2)

Come vengono scritti i numeri interi, usando le cifre arabe alle quali siamo abituati?

Ecco alcuni esempi di numeri interi scritti correttamente:

5898
-30
76
-234

Di contro, alcuni esempi di numeri interi scritti in maniera errata sono:

-12.76 (è un numero decimale, non intero!)
XVI (questo non va bene, perchè utilizza cifre romane)
meno45 (questo non va bene, perchè in un numero non possono comparire caratteri alfabetici)
100dodici (come sopra!)

Come si fa a dare un procedimento per produrre tutti i possibili numeri arabi interi corretti, ossia il linguaggio L dei numeri arabi interi?

Al solito, il modo più semplice è darne una grammatica BNF!

Esempio di grammatica per generare numeri interi (2/2)

Una possibile grammatica per i numeri interi

V = {-, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9} // alfabeto, contenente i simboli terminali

VN = {***cifra***, ***cifra-seq***, ***intero***} // simboli non terminali

S = ***intero*** // simbolo non terminale iniziale

Regole di produzione P

cifra
one of
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

cifra-seq
cifra cifra-seq | **opt**

intero
-| **opt** ***cifra-seq***

Notare che il '-' è opzionale e può comparire solo all'inizio

Con la grammatica introdotta non abbiamo univocità della rappresentazione, però abbiamo la garanzia di costruire/accettare solo numeri interi validi

Esempi:
-23
4506
0023 // equivale a 23
-067 // equivale a -67

Numeri come *--56* oppure *-87-4* oppure *634-* non verranno **nè prodotti**, **nè accettati**.

Che aspetto avrà la grammatica per il linguaggio C++?

Diamo ora un piccolo assaggio di come potrebbe essere fatta una grammatica per il linguaggio C++ (la daremo più avanti)

```
int main(){
   istruzione-seq
}

istruzione-seq
          istruzione istruzione-seq | opt

istruzione
          one of
          definizione    // int a = 3;
          selezione      // if (a == 5) ...
          iterazione     // while (a < 10 ) ...
```

Le istruzioni C++ le vedremo più avanti, una ad una. *Don't panic!*

Il più semplice programma C++

Il seguente è un semplicissimo programmino C++ che visualizza a video la sequenza di caratteri “Ciao mondo!”.

Si noti che in un programma C++ tutto quello che segue i due caratteri “//” viene ignorato dal compilatore (dai due caratteri fino alla fine della stessa riga).

Tali sequenze di caratteri che iniziano per “//” prendono il nome di **commenti**.
Nel seguito i commenti sono stati colorati di verde, per facilitare la lettura del codice. Durante l’esecuzione tutto avverrà come in assenza dei commenti.

```
#include <iostream>  // queste prime due istruzioni servono per
using namespace std; // poter usare cin e cout (le due
                     // istruzioni per leggere da tastiera
                     // e per stampare a video)
int main(){

   cout << "Ciao mondo! " << endl;

   return 0;  // "return" serve a terminare il programma
}
```


Struttura del generico programma C++

La struttura che avranno tutti i nostri programmi sarà sempre la stessa, ossia la seguente:

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

   <istruzione 1>
   <istruzione 2>
       ...
   <istruzione n>

   return 0;
}
```

Un programma C++ sorgente è una **sequenza di caratteri** che deve essere salvata **su disco** come file di testo, assegnandogli un **nome**

Esempio:
programma1.cpp // è importante usare l’estensione .cpp per i sorgenti C++

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
#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
   int a, b;
   cout << "Immettere due numeri " << endl;
   cin >> a;
   cin >> b;
   int c = a + b;
   // NB: int c = a + a;  errore semantico, non sintattico
   cout << "Somma: " << c << endl;
   return 0;
}
```


Approccio compilato

Sviluppo di un programma (approccio compilato):

1) editing: scrivere il testo e memorizzarlo su supporti di memoria permanenti (*hard disk*)
2) compilazione e linking (*il ruolo del linker lo vedremo più avanti*)

3) esecuzione

Compilatore&Linker: traduce il programma sorgente in programma **eseguibile**

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

Esempi: C, C++, Fortran, Rust, Go, …

Approccio Interpretato

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

ESEMPI: Python, Matlab, Javascript, …

In questo corso prenderemo I considerazione solo il linguaggio C++, e dunque, **solo l'approccio compilato**.

I tre passi su CLion: Editing, Compilazione ed Esecuzione

A laboratorio verrà utilizzato l'ambiente per la programmazione C++ denominato **CLion***:*

CLion è un programma, dotato di interfaccia grafica, che permette di:

1. effettuare l'editing del file sorgente contentente il programma C++
2. effettuare la compilazione (ed il *linking*, come vedremo più avanti)
3. nel caso non vi siano errori di compilazione, permette di lanciare il programma (ossia di caricarlo in memoria RAM e porlo in esecuzione)

Laboratorio di C++ basato su CLion

Durante il primo laboratorio verrete assistiti nella:

- Creazione di un programma C++ da dentro Clion e a salvarlo su file
- Compilarlo e porlo in esecuzione

Nello stesso laboratorio vi verranno insegnate altre funzionalità di base del programma CLion.

I programmi come CLion sono definiti IDE (**Integrated Development Environment**), che viene tradotto in *ambiente di sviluppo* (software) *integrato*.

CLion per funzionare ha obbiamente bisogno del compilatore C++.

In questo corso utilizzeremo il compilatore **MinGW**, in ambiente Windows, perchè può essere scaricato gratuitamente da internet.

Inoltre Clion ha bisogno di un ulteriore programma: **CMAKE**.

Rappresentazione dell'informazione

caratteri, naturali, interi e reali

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**, ossia *cifra binaria*.

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** oppure **1**.

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

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 $\mathbf{2^n}$

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

Calcolatore e Informazione

dispositivi di conversione

testo
disegni
immagini
numeri
musica
...

IN →

← *OUT*

sequenze
di bit

Calcolatore

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   Caro amico,
01101001
01100011
01101111
00101100
```

Rappresentazione del testo (2/2)

Codifica ASCII: utilizza 7 bit
Eccone la 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

La **codifica ASCII estesa** contiene ulteriori 128 caratteri, per un totale di 256 caratteri.

In questa codifica ogni carattere richiede 8 bit (ossia 1 byte)
(per i caratteri della codifica ASCII non estesa all'interno della codifica ASCII estesa *il bit più significativo vale zero*).

NB: Una codifica alternativa per i caratteri utilizzata dai browser internet è quella **UNICODE**, in cui ogni carattere occupa 16 bit. Il Linguaggio C++ **non supporta** in maniera nativa la codifica UNICODE**, ma solamente la codifica ASCII estesa** (quella su 8 bit).

Rappresentazione dei numeri naturali (1/15)

Base dieci

- Cifre: 0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9
- Rappresentazione posizionale

$(123)_{dieci}$ *significa* $1\times10^2 + 2\times10^1 + 3\times10^0$

Base due

- Cifre: 0, 1
- Rappresentazione posizionale

$(11001)_{due}$ *significa* $1\times2^4 + 1\times2^3 + 0\times2^2 + 0\times2^1 + 1\times2^0\ (= 25)_{dieci}$

Rappresentazione dei numeri naturali (2/15)

Data una base $\beta \geq$ **due**

Ogni numero naturale *N* minore di β ($N < \beta$) 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

Rappresentazione dei numeri naturali (3/15)

I numeri naturali maggiori o uguali a β possono essere rappresentati in maniera unica da una sequenza di cifre secondo la ***rappresentazione posizionale.***

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

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

allora *N* può essere espresso come segue:

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

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

Chiamiamo questa formula «*formula della sommatoria*».

Il fatto che, dato un naturale *N,* esista e sia unica la sequenza $a_{p-1}\ldots a_0$
(avendo rimosso eventuali zeri all'inizio) è dovuto ad un teorema noto con il nome di:
Teorema Fondamentale della Rappresentazione dei Numeri Naturali.

Rappresentazione dei numeri naturali (4/15)

Nella formula della sommatoria vengono coinvolte le potenze della base β.
Riportiamo di seguito le prime potenze nel caso della base $\beta = 2$.

Potenza di due	Valore in base dieci	Denominazione
2^0	1	
2^1	2	
2^2	4	
2^3	8	
2^4	16	
2^5	32	
2^6	64	
2^7	128	
2^8	256	
2^9	512	
2^{10}	1024	1 Kilo
...	...	
2^{20}	1048576	1 Mega
2^{30}	1073741824	1 Giga
2^{32}	4294967296	4 Giga

Osservazione 1:

La rappresentazione in base due di una qualunque potenza di due si può ottenere immediatamente utilizzando un uno seguito da p zeri, se p è la potenza:

$$2^p \leftrightarrow (1\underbrace{00\ldots00}_{p})_{due}$$

Esempio:

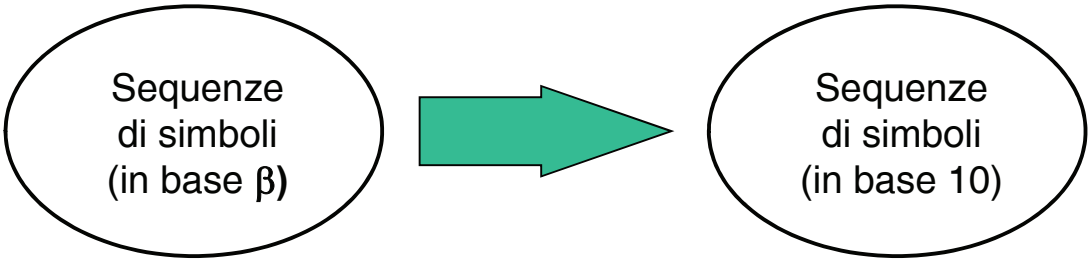
La rappresentazione di 2^5 in base 2 è 100000 (ossia trentadue in base dieci)

Osservazione 2: Con dieci bit in base due si possono generare 1 kilo sequenze distinte di bit (per la precisione, 1024 *disposizioni con ripetizione*).

Una memoria RAM con 2^{34} celle di memoria avrà 16 Giga locazioni (*memoria da 16 Giga Byte*)

Rappresentazione dei numeri naturali (5/15)

Data una sequenza di cifre in base β, a quale numero naturale corrisponde?



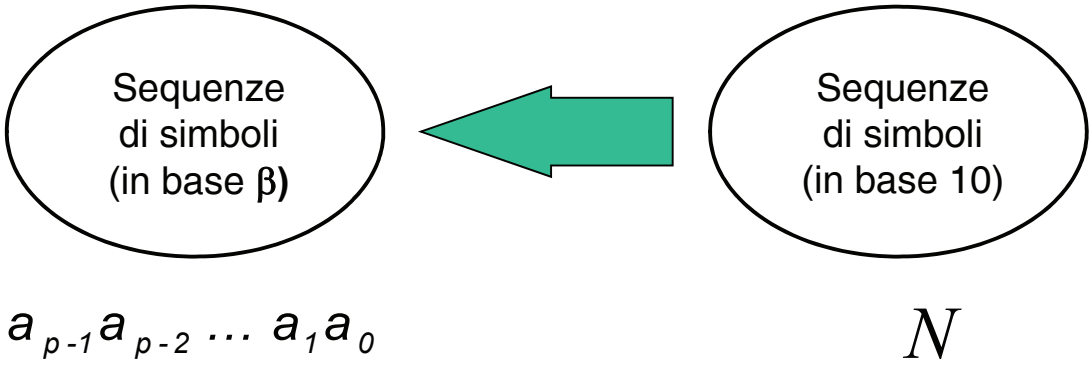
656_8 → $6 \cdot \boldsymbol{8}^2 + 5 \cdot \boldsymbol{8}^1 + 6 \cdot \boldsymbol{8}^0$ → 430

$A03_{16}$ → $10 \cdot \boldsymbol{16}^2 + 0 \cdot \boldsymbol{16}^1 + 3 \cdot \boldsymbol{16}^0$ → 2563

1101_2 → $1 \cdot \boldsymbol{2}^3 + 1 \cdot \boldsymbol{2}^2 + 0 \cdot \boldsymbol{2}^1 + 1 \cdot \boldsymbol{2}^0$ → 13

Rappresentazione dei numeri naturali (6/15)

Data la base β ed un numero naturale *N*, trovare la sequenza di cifre che rappresenta *N* in base β



$a_{p-1}a_{p-2}\ldots a_1a_0$ $\qquad$ N

Rappresentazione dei numeri naturali (7/15)

Esempio: da base 10 a base 2

$N = 23$

inizio

	QUOZIENTE	RESTO	Rappresentazione
	23	-	
div 2	11	1	11*2+1
div 2	5	1	((5*2)+1)*2+1
div 2	2	1	((((2*2)+1)*2)+1)*2+1
div 2	1	0	((((((1*2)+0)*2)+1)*2)+1)*2+1
div 2	**0**	1	((((((0*2+1)*2+0)*2+1)*2+1)*2)+1

fine

$(10111)_{due}$

$a_4a_3a_2a_1a_0$

che in base dieci vale $1*2^4+\ldots+1=(23)_{dieci}$, cvd

Rappresentazione dei numeri naturali (8/15)

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

Esempio:
23 **div** 2 = 11
23 **mod** 2 = 1

Procedimento "Div & Mod"

Se $N = 0$ porre $a_0 = 0$; => fine

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

$$q_1 = q_0 \text{ div } \beta \qquad a_0 = q_0 \text{ mod } \beta$$
$$q_2 = q_1 \text{ div } \beta \qquad a_1 = q_1 \text{ mod } \beta$$
$$\ldots$$
$$q_p = q_{p-1} \text{ div } \beta \qquad a_{p-1} = q_{p-1} \text{ mod } \beta$$

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

fino a quando q_p diventa uguale a 0

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

Rappresentazione dei numeri naturali (9/15)

Inizio $q_0 = N$

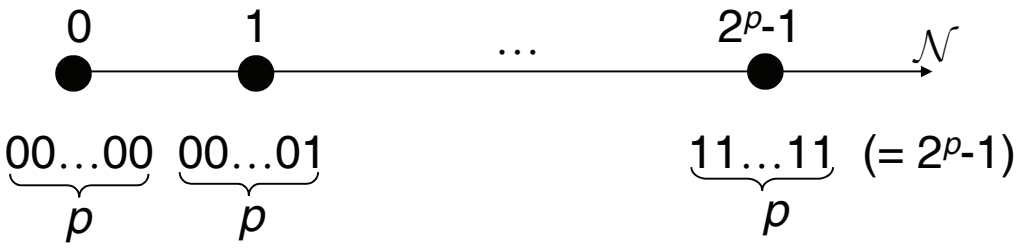
	QUOZIENTE	RESTO
	$q_0 = N$	-
div β	$q_1 = q_0 / \beta$	a_0
div β	$q_2 = q_1 / \beta$	a_1
div β	$q_3 = q_2 / \beta$	a_2
div β	$q_4 = q_3 / \beta$	a_3
div β	$q_5 = q_4 / \beta$	a_4
div β	$q_6 = q_5 / \beta$	a_5
	$q_7 = \mathbf{0}$	a_6

fine

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

Rappresentazione dei numeri naturali (10/15)

Intervallo di rappresentabilità con p bit



00…00 (p) 00…01 (p) … 11…11 (p) (= 2^p-1)

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

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

Rappresentazione dei numeri naturali (11/15)

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

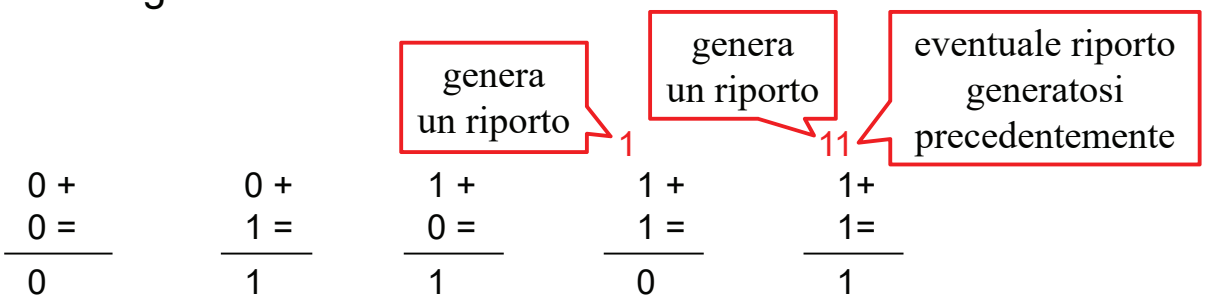
A = 1111111111111111 (65535)
B = 1111111111111111 (65535)

11111111111111110 (131070)

Rappresentazione dei numeri naturali (12/15)

Somma fra due numeri naturali espressi in binario.

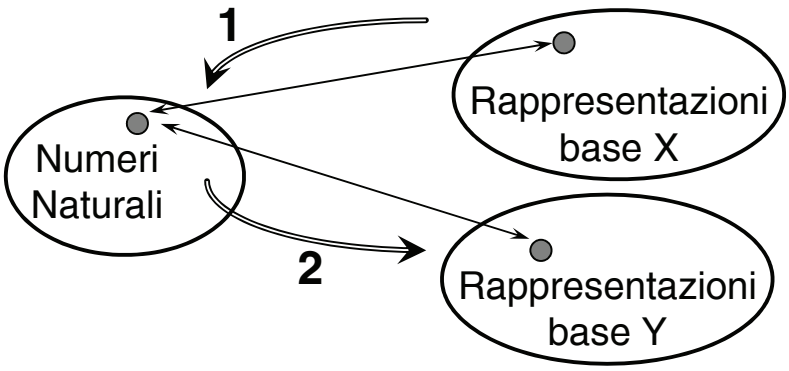
Per sommare 10011 e 101101, basta metterli in colonna allineandoli a destra (come si fa con i numeri in base 10) e poi tenere presenti le seguenti regole:



Esempio: calcolare la somma di 101100 e 111010

```
 111  1   ← riporti generati
  101011 +
  111010 =
--------
 1100101
```


Rappr. Naturali - Cambio di base (13/15)



Da base X a base Y

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

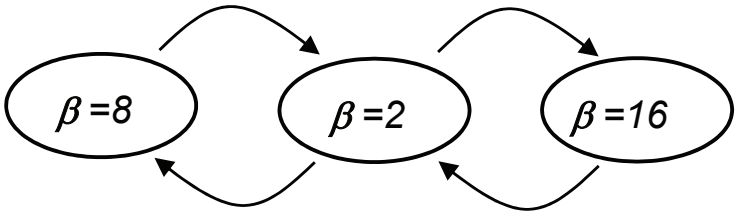
1) Trasformo in base 10 ed ottengo 138
2) Applico il procedimento `mod/div` ed ottengo $(163)_{nove}$

Rappr. Naturali - Cambio di base (14/15)

Casi particolari (potenze di 2)

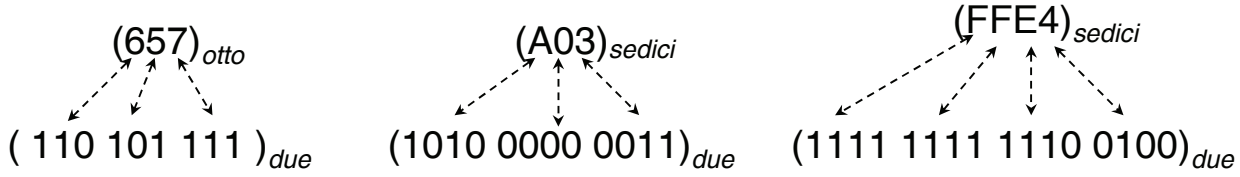
$\beta = 8$

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



$\beta = 16$

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

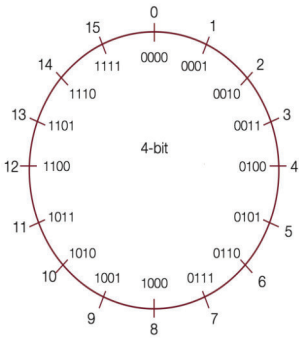


Rappr. Naturali – Nel linguaggio C/C++ (15/15)

In C++ si possono facilmente definire numeri naturali su 32 bit (tipo «unsigned int») e su 16 bit (tipo «unsigned short int»). Per i numeri naturali su 64 bit si può provare ad usare il tipo «unsigned long int», ma non è detto che allochi un naturale su 64 bit (potrebbe allocarlo ancora su 32 bit).

```
int main(){

   unsigned int n = 0;          // naturale su 64 bit
   cout<<sizeof(n)<<endl;   // se stampa 4 vuol dire che effettivamente è stato allocato su 64 bit

   n = 4294967295;          // questo numero è il naturale massimo rappresentabile su 64 bit
   cout<<n<<endl;           // ( infatti 2^32-1 = 4294967295 )

   ++n;
   cout<<n<<endl;           // stampa 0
}
```

NB: In C++ i numeri naturali appaiono organizzati ad anello!
In pratica nella maggior parte delle architetture hardware la somma è intesa come somma modulare (figura a destra)



Numeri Interi (1/15)

Prima rappresentazione: *rappresentazione in modulo e segno*

Trasformazione a => A (codifica)

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

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

dove *ABS_a* è la rappresentazione (come numero naturale) del valore assoluto di **a** su *p*-1 bit (in particolare *ABS_a* è rappresentato mediante i bit $a_{p-2},\ldots,a_0$),
e *segno_a* è un unico bit che vale 0 se **a** >= 0 e 1 se **a** <= 0).
NB: ad **a**=0 corrispondono due rappresentazioni: *+zero* (0,00..0) e *-zero* (1,00..0)

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

a=+3 => *segno_a* = 0, *ABS_a* = 011 (naturale 3 rappresentato su 3 cifre) => **A**=0011
a= -3 => *segno_a* = 1, *ABS_a* = 011 (naturale 3 rappresentato su 3 cifre) => **A**=1011

Numeri Interi (2/15)

Prima rappresentazione: *rappresentazione in modulo e segno*

Trasformazione A => a (decodifica)

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**=($\underbrace{a_{p-1}}$, $\underbrace{a_{p-2}\ldots a_0}$)
dopodiché:

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

dove *ABS_a* è il naturale corrispondente ad $a_{p-2}\ldots a_0$

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

A=0011 => viene visto come (0,011) => **a** = +011 (+*tre*)
A=1011 => viene visto come (1,011) => **a** = -011 (-*tre*)

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

Numeri Interi (3/15)

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	-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 ⇔ bit più significativo della rappresentazione uguale a 1

(*zero* rappresentato due volte)

Numeri Interi (4/15)

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**=>**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=(*segno_a*, *ABS_a*), dove *segno_a*=1 e *ABS_a* = 9
ma il naturale 9 (1001) non è rappresentabile su 3 bit!!

Seconda rappresentazione: *rappresentazione in complemento a 2*
Trasformazione a => A (codifica)

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:

$$\mathbf{A} = a_{p-1}\ldots a_0 = (\mathbf{a} >= 0)\ ?\ ABS\_a : (due^p\text{-}ABS\_a)$$

dove sia *ABS_a* che (*due*^{p}-*ABS_a*) sono rappresentati in base due come numeri naturali su *p* bit.

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

a = 0 => *ABS_a* = 0, e il naturale 0 ha rappr. 0000 su 4 bit => **A** = 0000
a = 1 => *ABS_a* = 1, e il naturale 1 ha rappr. 0001 su 4 bit => **A** = 0001
a = 7 => *ABS_a* = 7, e il naturale 7 ha rappr. 0111 su 4 bit => **A** = 0111
a = -1 => *ABS_a* = 1, 16-1=15, dove il naturale 15 ha rappr. 1111 su 4 bit => **A** = 1111
a = -2 => *ABS_a* = 2, 16-2=14, dove il naturale 14 ha rappr. 1110 su 4 bit => **A** = 1110
a = -8 => *ABS_a* = 8, 16-8=8, dove il naturale 8 ha rappr. 1000 su 4 bit => **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.

Seconda rappresentazione: *rappresentazione in complemento a 2*
Trasformazione A => a (decodifica)

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

$$\mathbf{a} = (a_{p-1} == 0)\ ?\ +\mathbf{A} : -(due^p\text{-}\mathbf{A})$$

dove sia **A** che (*due*^{p}-**A**) vengono visti come naturali su *p* bit.

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

A = 0000 => **a** = 0 (*zero*)
A = 0001 => **a** = +1 (+*uno*)
A = 0111 => **a** = +7 (+*sette*)
A = 1000 => 16-8 = 8 => **a** = -8 (-*otto*)
A = 1001 => 16-9 = 7 => **a** = -7 (-*sette*)
A = 1111 => 16-15=1 => **a** = -1 (-*uno*)

Numeri Interi (7/15)

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 ⇔ *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)

Numeri Interi (8/15)

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**=>**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=(due^4-9)=16-9 = 7 ⇒ 0111, che è un risultato sbagliato!

Infatti -9 **non è rappresentabile** su 4 bit, ne servono almeno 5!

NB2: 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!).

NB3: su 5 bit, **a**=-9 ha rappresentazione (due^5-9) = 23 ⇒ **A**=10111

Numeri Interi (9/15)

Terza Rappresentazione: *rappresentazione con bias*

Trasformazione a => A (codifica)

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:

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

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* e **A** = **a** + *bias*

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

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

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

Numeri Interi (10/15)

Terza Rappresentazione: *rappresentazione con bias*

Trasformazione A => a (decodifica)

Sia **A** (*es.* 1010, 0100, …) la rappresentazione di un numero intero nella ***rappresentazione con bias*** su *p* bit. Il numero intero **a** (*es.* **a**=+*3,* **a**=-*3,* …) associato ad **A** è dato da:

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

dove A viene visto come numero naturale su *p* bit. Dunque **a** = **A** - *bias*

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

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

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

Numeri Interi (11/15)

Intervallo di rappresentabilità nella *rappresentazione con bias*

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

- $p = 4$ [-7 , +8] (*bias*=7)
- $p = 5$ [-15 , +16] (*bias*=15)
- $p = 7$ [-63 , +64] (*bias*=63)
- $p = 10$ [-511 , +512] (*bias*=511)
- $p = 14$ [-8191, +8192] (*bias*=8191)

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!

NB2: nella rappresentazione con bias i numeri **positivi** si possono distinguere immediatamente: iniziano per 1 (ossia hanno il bit più significativo ad 1). Quelli **non positivi** (negativi o nulli), invece, iniziano per 0.

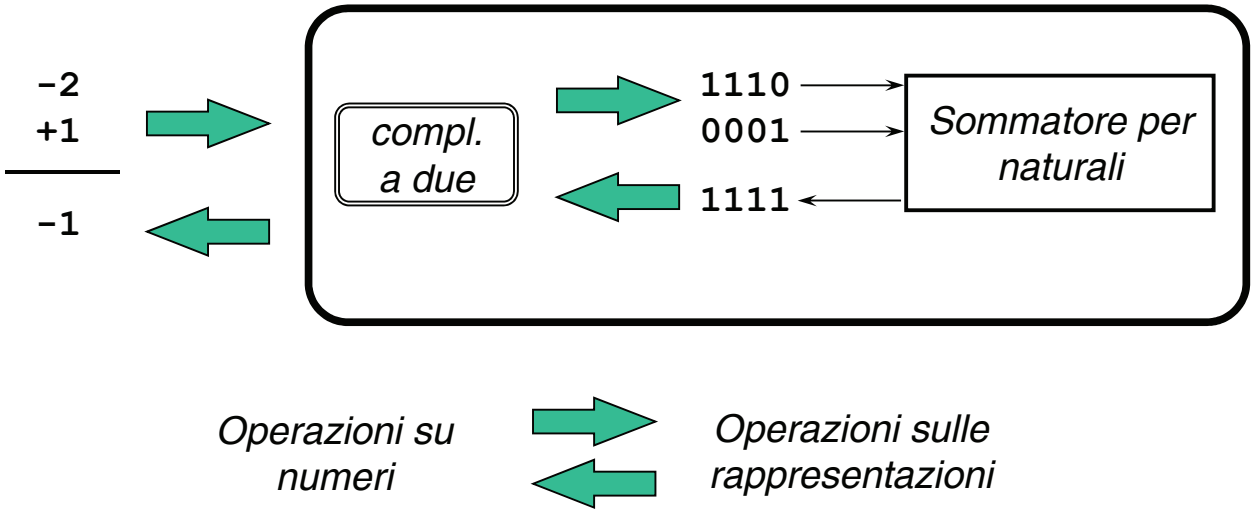
Numeri Interi (12/15)

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.*

Numeri Interi (13/15)



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!***

Numeri Interi (14/15)

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

7+5=12

0 1 1 1 + (+7)
0 1 0 1 = (+5)

~~1 1 0 0 (-4)~~ **overflow!**

-6 -8 = -14

1 0 1 0 + (-6)
1 0 0 0 = (-8)

~~1 0 0 1 0 (+2)~~ **overflow!**

7-1=6

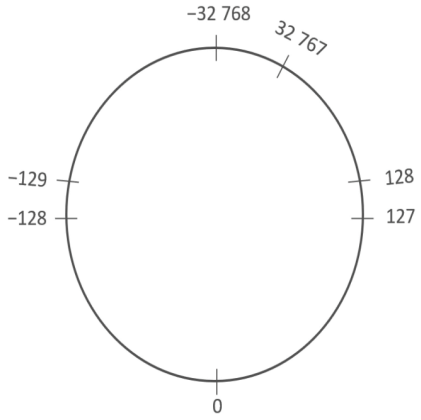
0 1 1 1 + (+7)
1 1 1 1 = (-1)
---
1 0 1 1 0 (+6) corretto!

NB: L'eventuale (p+1)-esimo bit viene sempre scartato

Numeri Interi (15/15)

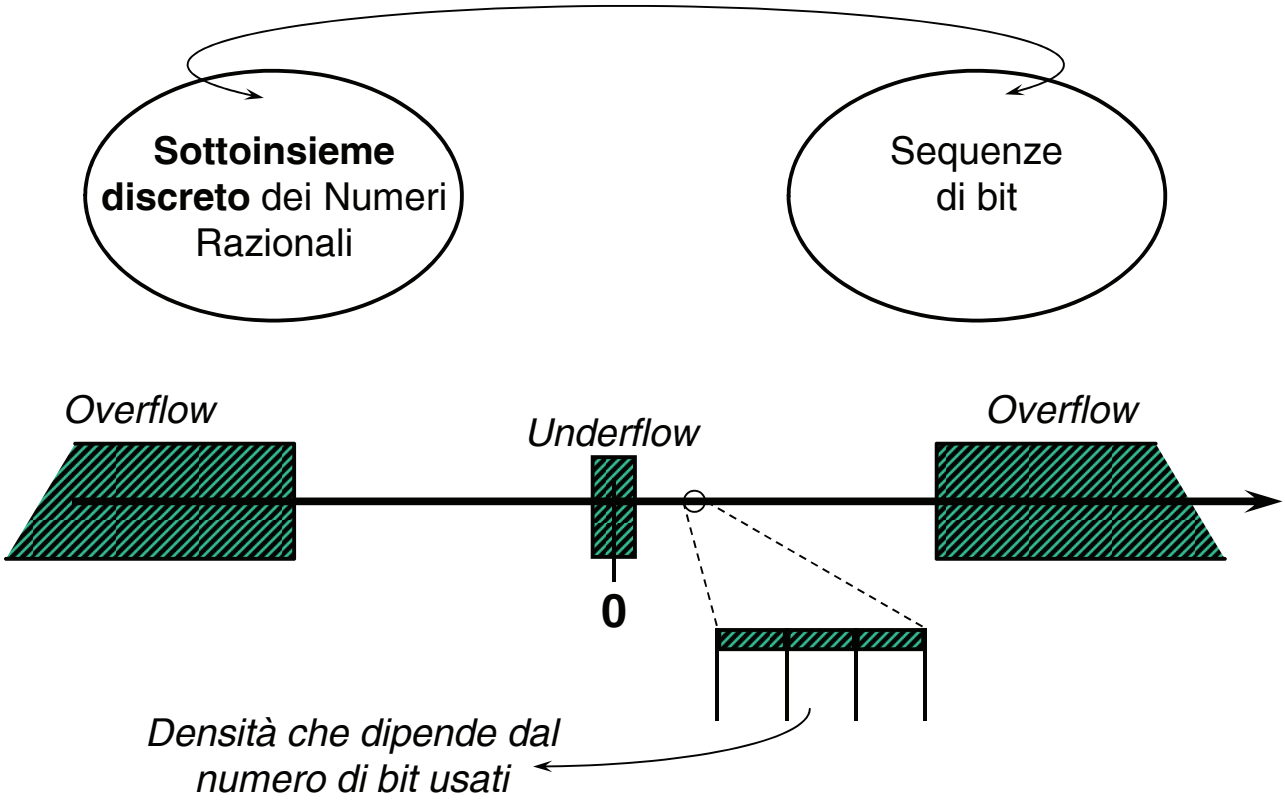
In C++ si possono facilmente definire numeri interi su 32 bit (tipo «int») e su 16 bit (tipo «short int»). Per i numeri interi su 64 bit si può provare ad usare il tipo «long int», ma non è detto che allochi un intero su 64 bit (potrebbe allocarlo ancora su 32 bit).

```
int main(){

    short int n = 0;
    cout<<sizeof(n);    // nella maggior parte dei compilatori stampa 2
                        // (il che prova che è stato effettivamente rappresentato su 16 bit)
    n  = 32367;
    cout<<n;            // stampa a video 32367, come ci si aspetta

    n = n + 1;
    cout<<n;            // stampa a video -32368
                        // questo è il «famoso» problema
                        // dell'INTEGER OVERFLOW
    return 0;
}
```



NB: In C++ gli interi appaiono organizzati ad anello!
(vedi figura a destra)

Numeri Reali



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:

$$R = a_{p-f-1}\ldots a_0\, a_{-1}\ldots a_{-f} \qquad r \cong \sum_{i=-f}^{p-f-1} a_i \beta^i = a_{p-f-1}\beta^{p-f-1} + \ldots + a_0\beta^0 + \underbrace{a_{-1}\beta^{-1} + \ldots + a_{-f}\beta^{-f}}_{\text{parte frazionaria}}$$

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:

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) a_{-1} = I(f_0 * 2)
f_{-2} = F(f_{-1} * 2) 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 e *f* = 5**
***r* = +331.6875**

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 ⇔ 101001011;**

Numeri Reali – Virgola fissa(4/5)

F	I
$f_0 = 0.6875$	
f_{-1}=F(0.6875*2=**1.375**)=0.375	a_{-1}=I(1.375)=**1**
f_{-2}=F(0.375*2=**0.75**)=0.75	a_{-2}=I(0.75)=**0**
f_{-3}=F(0.75*2=**1.5**)=0.5	a_{-3}=I(1.5)=**1**
f_{-4}=F(0.5*2=**1.0**)=0	a_{-4}=I(1.0)=**1**

- Rappresentazione della parte intera: 101001011 (necessita di 9 bit)
- Rappresentazione della parte frazionaria su 4 bit: 1011
- Siccome si cercava la rappresentazione su 5 bit, la parte fraz. diventerà 10110

- Rappresentazione complessiva: R = (+,0101001011.10110) $_{\text{base } due}$
  (in questo caso si è scelto di utilizzare un approccio *modulo e segno*)

- Controprova riguardo alla parte frazionaria:
  $1* 2^{-1} + 0*2^{-2} + 1*2^{-3} + 1*2^{-4} \Rightarrow 0.5 + 0.125 + 0.0625 \Rightarrow 0.6875$
- In altre parole abbiamo verificato che $(0.6875)_{\text{base } dieci} \Leftrightarrow (0.1011)_{\text{base } due}$

Numeri Reali – Virgola fissa(5/5)

ERRORE DI TRONCAMENTO

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

F	I
$f_0 = 0.3$	
f_{-1}=F(0.3*2=**0.6**)=0.6	a_{-1}=I(**0.6**)=**0**
f_{-2}=F(0.6*2=**1.2**)=0.2	a_{-2}=I(1.2)=**1**
f_{-3}=F(0.2*2=**0.4**)=0.4	a_{-3}=I(0.4)=**0**
f_{-4}=F(0.4*2=**0.8**)=0.8	a_{-4}=I(0.8)=**0**
f_{-5}=F(0.8*2=**1.6**)=0.6	a_{-5}=I(1.6)=**1**
f_{-6}=F(0.6*2=**1.2**)=0.2	a_{-6}=I(1.2)=**1**

Per esprimere r sono necessarie un numero infinito di cifre!

(10.0 1001 1001 1001… = 10.01<u>1001</u> dove <u>1001</u> è la parte periodica)

Ne abbiamo a disposizione solo 6. Quindi si opera un ***troncamento*** alla 6ª 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 ($< 2^{-6} = 0.015625$)

Numeri Reali – Virgola mobile(1/11)

CALCOLO DI FISICA ASTRONOMICA

$m_e = 9 \times 10^{-28}$ gr; $m_{sole} = 2 \times 10^{+33}$ gr $\Rightarrow$ 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

$r = \pm m \cdot \beta^e$ m = mantissa; e = esponente

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

L'accuratezza è determinata dal numero di cifre della mantissa.

Diverse rappresentazioni

3.14 0.314 10^{+1} 31.4 10^{-1}

Se ne sceglie una in particolare, che verrà chiamata **forma normalizzata**,in modo da avere una rappresentazione unica

Numeri Reali – Virgola mobile(2/11)

Rappresentazione di un numero binario in virgola mobile:

+1110.01 numero reale binario in virgola fissa

$+1.11001 \cdot due^{+11}$ … … $+111001 \cdot due^{-10}$

(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

Numeri Reali – Virgola mobile(3/11)

$$r \leftrightarrow R = \langle s, \quad E, \quad F \rangle$$

Standard IEEE 754-1985
(aggiornato nel 2008 e nel 2019)

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 BIAS*)

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

Numeri Reali – Virgola mobile(4/11)

Half precision: 16 bit, K = 5 e G = 10. Esempi di decodofica R => r

Esempio 1

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

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

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

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

r = -30.578125 in base *dieci*

Esempio 2

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

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

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

r = $+1.0000000001 \cdot due^{+zero} = 2^0+2^{-10} = 1 + 0.0009765625 = 1.0009765625$

r = + 1.0009765625 in base *dieci*

Numeri Reali – Virgola mobile(5/11)

Half precision, esempi di codifica r => R

[In questi primi due esempi A e B vedremo un metodo empirico. Metodo applicabile solo quando r è una potenza di 2]

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 = $+1.0000000000 \cdot due^{+1} = 2$ 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 = $+1.0000000000 \cdot due^{-1} = 0.5$ in base *dieci*

Half precision, esempi di codifica r => R

[In questo terzo esempio viene illustrato il metodo generale: prima si calcola la rappresentazione di r in virgola fissa, poi la si usa per trovare la rappresentazione R in virgola mobile]

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 1001 1001 ~~*1001 1001*~~*...* $\cdot$ *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}

Numero massimo e minimo: +max_pos, -max_pos

R={*0*,11111,1111111111} (massimo numero rappresentabile, +max_pos)
R={*1*,11111,1111111111} (minimo numero rappresentabile, -max_pos)

$f = F/2^G = F/2^{dieci} = 0.1111111111$
$e = +E - (2^{K-1} - 1) = +11111 - (+01111) = +10000$ (+*sedici*)

$|\mathbf{r}| = 1.1111111111 \cdot due^{+10000} < 2^{(2^{(K-1)}+1)} = 2^{bias+2} = 2^{17} = 131072$
$|\mathbf{r}| = 131008 \cong 1.3 \cdot 10^{+5}$ in base *dieci*

Riassumendo, nella rappresentazione *half precision*:
max_pos corrisponde a circa $+2^{+17}$

NB: L'intervallo di rappresentabilità: [-max_pos, +max_pos] *è approssimato dunque dall'intervallo:* $[-2^{bias+2}, 2^{bias+2}]$

Numeri Reali – Virgola mobile(8/11)

Numeri con modulo minimo: +min_pos e –min_pos

R={*0*, 00000,0000000000} (minimo numero positivo, +0)
R= {*1*,00000,0000000000} (massimo numero negativo, -0)

$f = F/2^{G} = F/2^{dieci} = 0.0000000000$
$e = + E - (2^{K-1} - 1) = +00000 - (+01111) = -01111 = -quindici$

$|\mathbf{r}| = 1.0000000000 \cdot due^{-01111} = \mathbf{2^{-bias}}$
$|\mathbf{r}| = 2^{-15} \cong 0.31 \cdot 10^{-4}$

Riassumendo, min_pos (a volte denotato come 0^{+}) nella rappresentazione *half precision* corrisponde a:
$+2^{-15} \cong +0.31 \cdot 10^{-4}$
Il numero negativo più grande (0^{-}) corrisponde a:
$-2^{-15} \cong -0.31 \cdot 10^{-4}$ (= -min_pos)

Numeri Reali – Virgola mobile(9/11)

Standard IEEE 754 (1985, 2008, 2019) prevede:

Rappresentazione in ***single precision*** su **32 bit** con ***K* = 8** e ***G* = 23**
Intervallo di rappresentabilità:

massimo modulo $\cong 2^{(bias+2)} = 2^{+129} \cong 6.8 \cdot 10^{+38}$
minimo modulo $= 2^{-bias} = 2^{-127} \cong 0.58 \cdot 10^{-38}$

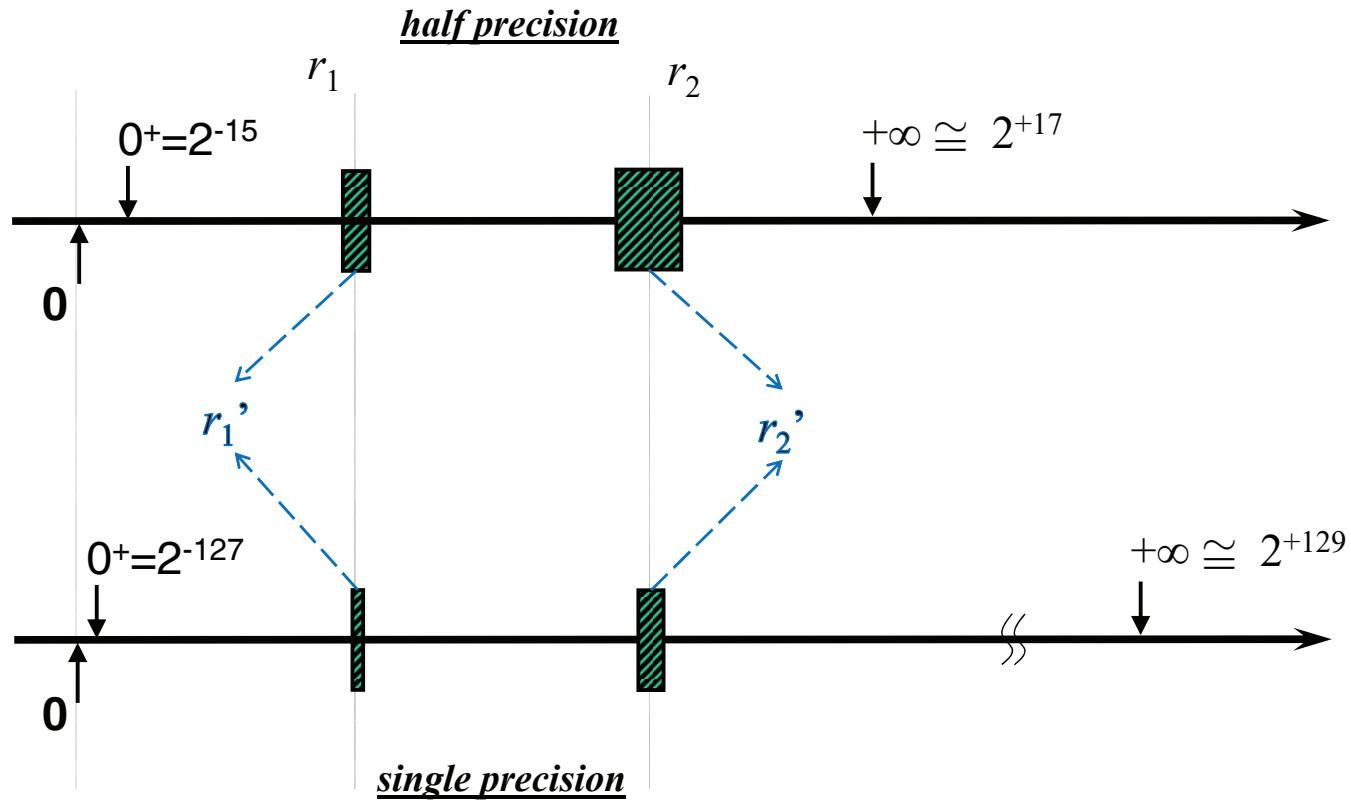
Rappresentazione in ***double precision*** su **64 bit** con ***K* = 11** e ***G* = 52**
Intervallo di rappresentabilità:

massimo modulo $\cong 2^{(bias+2)} = 2^{+1025} \cong 3.6 \cdot 10^{+308}$
minimo modulo $= 2^{-bias} = 2^{-1023} \cong 1.1 \cdot 10^{-308}$

IEEE 754-2008 aggiunge:
rappresentazione in ***quadruple precision*** su **128 bit** con ***K* = 15** e ***G* = 112**

massimo modulo $\cong 2^{(bias+2)} = 2^{+16385} \cong 1.2 \cdot 10^{+4932}$
minimo modulo $= 2^{-bias} = 2^{-16383} \cong 1.6 \cdot 10^{-4932}$

Numeri Reali - Virgola mobile (10/11)



Numeri Reali - Virgola mobile (11/11)

La IEEE sta lavorando in questi ultimi anni alla standardizzazione dei numeri reali in virgola mobile su 8 bit.

Presto ne conosceremo tutti i dettagli. E' possibile che ne vengano standardizzate diverse versione, con diverso numero di bit per l'esponente.

Ad esempio, standardizzare un float8 con ***K = 4*** sembra una scelta del tutto ragionevole, ma anche ***K = 3*** è al momento preso in considerazione.

Addidittura si sta valutando di standardizzare il float8 con ***K=5***, perché è di interesse per la comunità del *machine learning*.

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 <u>one of</u> .

Categorie sintattiche:

- **scritte in *corsivo*.**

Costrutti di metalinguaggio:

- **scritti con <u>sottolineatura</u>.**

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

- **Frasi 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

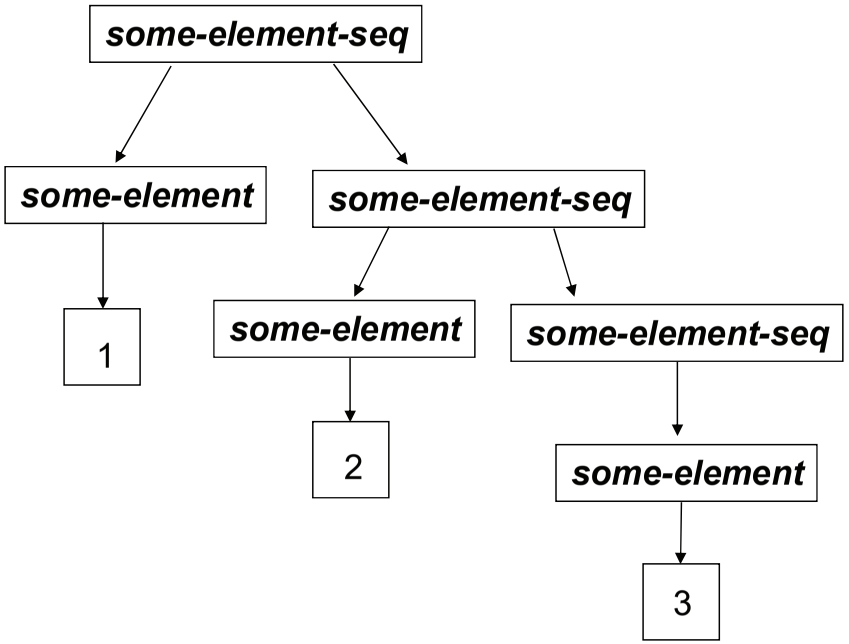
some-element

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()
{ }
```

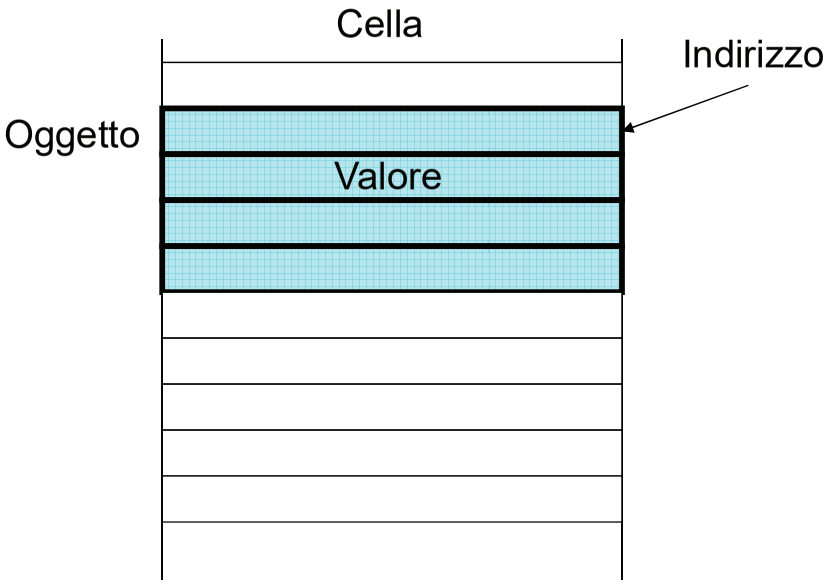
Un passo avanti

```
#include <iostream>   // direttiva per il prepocessore
                      // che include la libreria per
                      // l'ingresso e l'uscita

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
{
   cout<< "Ciao Mondo!";
   cout<<endl; // serve a spostare il cursore all'inizio
               // della riga successiva

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

Ciao Mondo!

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 <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i;
    int i1 = 7;
    int i2(7);
    int i3 = 0, i4, i5 = 6;
    i1 = -7;                  // i1 = -7 (cambiamento di segno)
    i2 = i1 + 3;              // i2 = -4 (somma)
    i2 = i1 - 1;              // i2 = -8 (sottrazione)
    i2 = i1 * 2;              // i2 = -14 (moltiplicazione)
    i4 = 1 / 2;               // i4 = 0   (quoziente)
    i5 = 1 % 2;               // i5 = 1   (resto)
    i3 = 1 / 2 * 2 + 1 % 2;   // i3 = 1   (a=(a/b)*b + a%b)
    cout << i3 << endl;

}
```

```
1
```


3.3 Tipo intero (II)

```
#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;

}
```

```
9
15
15
```

3.3 Tipo intero (III)

Definizione di un intero con il formalismo di Backus e Naur

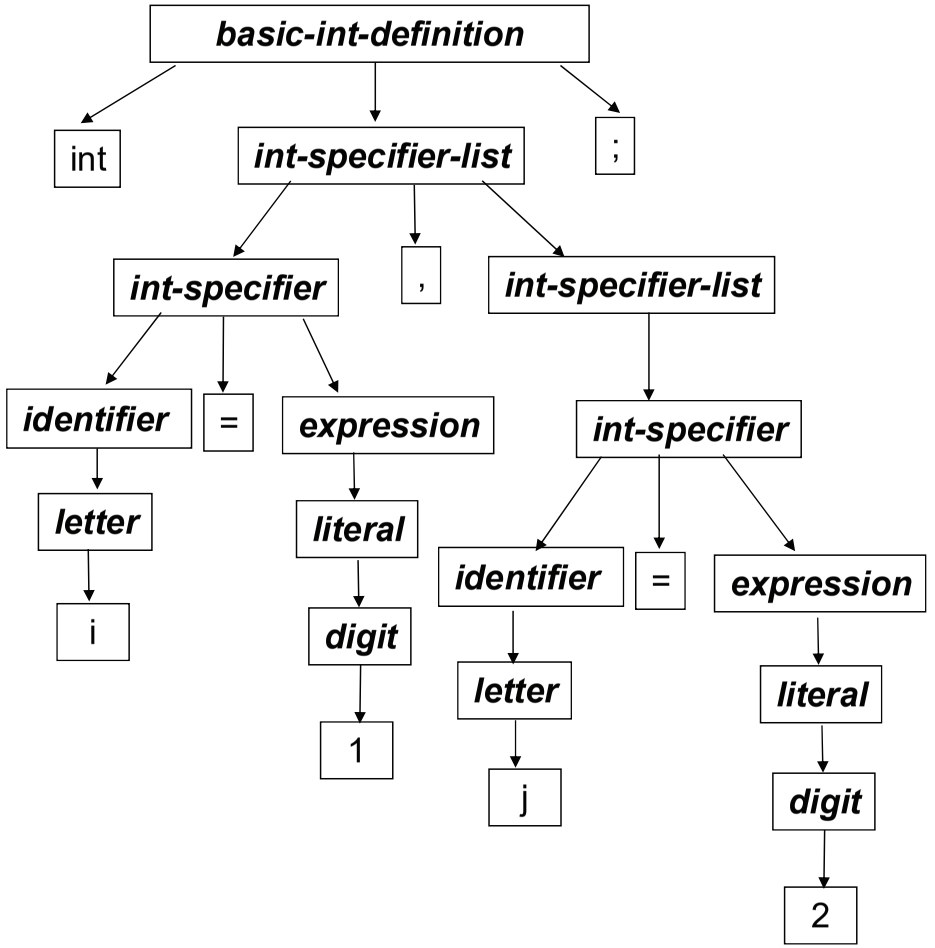
basic-int-definition
int *int-specifier-list* ;
int-specifier-list
int-specifier
int-specifier, *int-specifier-list*
int-specifier
identifier int-initializer|opt
int-initializer
= *expression*
(*expression*)

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 <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;

}
```

```
1      2
3      4
5555   6666   7777
65535
```


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

3.3.1 Tipo unsigned (II)

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

3.3.1 Tipo unsigned (III)

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    unsigned short a = 0xFFF9;     // in esadecimale
                                   // 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 d = 021;  // in ottale (17)
    unsigned short e = 0b0000000000010010; // in binario (18)

    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;

    cout << d << '\t' << e << endl;
}
```

```
65529    6    19
23       2    21
24       3
17       18
```

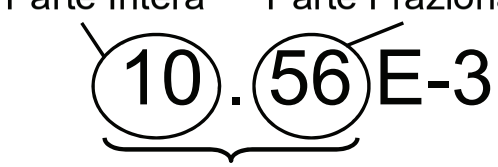
3.4 Tipo reale (I)

```
#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 = -2.2f;
    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;

}
```

```
3.3     -0.01214        1.51
-2.2    -14.32
0.1     1.23e+012
```


3.4 Tipo reale (II)

Letterale reale (forma estesa):



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 <iostream>
using namespace std;
int main()
{
   int i = 1, j = 2;
   int z = i / j;                                  // 0
   double d1 = 1.0 / 2.0;                          // 0.5
   double d2 = 1 / 2;                              // 0
   double d3 = (double)i / j;                      // 0.5
   cout << z << '\t' << d1 << '\t' << d2 << '\t' << d3 << endl;
}
```

```
0       0.5     0       0.5
```

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

    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;

}
```

```
0    1    1    1
```

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 <iostream>
using namespace std;

int main()
{
    bool b1, b2, b3, b4, b5;
    int i = 10;
    float f = 8.0f;

    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;

}
```

```
0    0    1
1    0
```

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

    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';

}
```

```
c    c    c    c
d    a    +    2
1
0
```


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 <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;

}
```

```
2
2
1
10    11    9    10
```


3.8.1 Conversioni implicite (I)

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

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

    j = f + 3.1f;               // 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;

}
```

```
3.5    5
11     13.5
3
```

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 0X7FFFFFF0 (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;**
- **puo essere usato per effettuare conversioni di tipo previste dalla conversione implicita.**

```
#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);
    g2 = (Giorni) i;                // cast
    g3 = Giorni (i);                // notazione funzionale

    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;

}
```

```
1    1    1
1    2
```


3.9 Dichiarazioni di oggetti costanti

Oggetto costante:

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

```
#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!

}
```

```
0    3.5    7
```

3.10 Operatore sizeof (I)

```
#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

}
```


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
```

3.10 Operatore sizeof (III)

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

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

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


}
```

```
costante carattere 1
costante carattere 1
variabile carattere 1
```


4.1 Struttura di un programma

basic-main-program

int main () *compound-statement*

compound-statement

{ *statement-seq* }

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 L'istruzione espressione

Sintassi:

basic-expression-statement
    expr |opt ;

expr
    term
    expr infix-binary-op expr

term
    primary-exp
    pre-fixed-unary-op expr
    expr post-fixed-unary-op

primary-exp
    literal
    identifier
    (*expr*)

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 ';' .

Esempi di istruzioni espressione:

```
5;          // letterale seguito da ;
a;          // nome di variabile seguito da ;
-a;         // operatore unario prefisso
a+b;        // operatore binario infisso
(a+7)*-b;   // combinazione dei precedenti
```


4.2 Espressioni di assegnamento (I)

Nel linguaggio C++ l'assegnamento viene modellizzato come un operatore e pertanto potrà comparire nelle espressioni.

In particolare, l'espressione di assegnamento viene utilizzata per assegnare un nuovo valore ad una variabile pre-esistente.

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 <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)

}
```

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


4.2.1 Altri operatori di assegnamento

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

basic-compound-assignment
variable-name ⊕ = expression

```
#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;
     cout << i << endl;         // restituisce un l-value

}
```

```
5
30
26
2
```

4.2.2 Incremento e decremento

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

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

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

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

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

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

    return 0;
}
```


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 <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


    return 0;
}
```

```
7
9
```


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

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

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

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

    return 0;
}
```

```
1
4
1
1
```

4.3 Espressioni aritmetiche e logiche (IV)

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

int main()
{
    bool k;
    int i = 0, j = 5;
    k = i >= 0 && j <= 1;          // (i >= 0) && (j <= 1)
    cout << k << endl;             // 0

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

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

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

    return 0;
}
```

```
0
1
1
0
```


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.**

Questo comportamento va sotto il nome di *regola del cortocircuito*, o *regola della scorciatoia* (dall'inglee «shortcut rule»)

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

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

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

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

    cin>>i;                  // ora in i ci può essere qualunque intero

    // k = (10 / i >= 3) && ( i != 0);  // versione sbagliata (se i==0
                                        // si avrebbe divisione per zero!)

    k = (i != 0) && (10 / i >= 3);       // versione corretta

    cout << k << endl;                   // 0 o 1 (a seconda del val di i)

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

    cin >> i >> j;                                  // 2  4
    min = (i < j ? i : j);
    cout << "Il numero minore e': " << min << endl;


    return 0;
}
```

```
Inserisci due numeri interi
2
4
Il numero minore e': 2
```


4.4 Operatore virgola (I)

A volte è comodo poter inserire due o più espressioni laddove la grammatica ne prevederebbe una sola.

In questi casi viene in aiuto l'operatore virgola.
Si tratta di un operatore binario infisso, associativo a sinistra.

Sintassi:

esp1, esp2

Funzionamento:

viene prima valutata l'espressione di sinistra (esp1), dopodichè viene valutata l'espressione di destra (esp2). L'operatore restituisce, come risultato, il risultato prodotto dalla seconda espressione. *Il risultato prodotto dalla valutazione delle prima epressione viene ignorato*.

Esempio di utilizzo:

```
int main()
{
  int a = 2;
  int b = 3;
  a = (b++, 5);      // chiamata dell'operatore virgola
  cout<<b<<endl;  // stampa 4
  cout<<a<<endl;  // stampa 5
}
```

4.4 Operatore virgola (II)

Attenzione! L'operatore virgola è quello a più bassa priorità di tutti! Più bassa anche di quella dell'operatore di assegnamento.

Pertanto il seguente codice non produce lo stesso risultato del codice precedentem in quanto prima viene effettuato l'assegnamento e successivamente viene valuto l'operatore virgola:

```
int main()
{
  int a = 2;
  int b = 3;
  a = b++, 5;
  cout<<b<<endl;  // stampa 4
  cout<<a<<endl;  // stampa 3
}
```

Per quanto detto, il codice riportato qui sopra è equivalente al seguente codice:

```
int main()
{
  int a = 2;
  int b = 3;
  (a = b++), 5;
  cout<<b<<endl;  // stampa 4
  cout<<a<<endl;  // stampa 3
}

// NB: L'operatore virgola capiterà di vederlo utilizzato
// nell'istruzione for
```


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 <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int a, b, max;
    cin >> a >> b;                    // 4 6
    if (a > b)
        max = a;
    else
        max = b;
    cout << max << endl;

    return 0;
}
```

```
4
6
6
```


6.3.1 Istruzione if (II)

```
// Incrementa o decrementa

#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;

    return 0;
}
```

```
4
6
3       5
```

6.3.1 Istruzione if (III)

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

#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;

     return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
-4
Il valore assoluto e' 4
```


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

     return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
2
Numero incrementato 3
```

```
Inserisci un numero intero
0
```

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 <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;

    return 0;
}
```

```
Inserisci due numeri interi
3
5
4       5
```

NOTA BENE

la parte *else* si riferisce alla condizione più vicina (nell'esempio, alla condizione b > 0);

6.3.1 Istruzione if (VI)

```
// Scrittura fuorviante

#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;

    return 0;
}
```

```
Inserisci due numeri interi
5
7
6       7
```

6.3.1 Istruzioni if (VII)

```
// Scrive asterischi

#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;

    return 0;
}
```

```
Quanti asterischi?
2
**
```


6.3.1 Istruzione if (VIII)

```
// Equazione di secondo grado
#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 degenere" << 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;
            }
        }
    return 0;
}
```

6.3.1 Istruzione if (IX)

```
Coefficienti?
1
6
9
x1: -3
x2: -3
```


6.3.2 Istruzioni switch e break (I)

Sintassi:

switch-statement

switch (***expression***) ***switch-body***

switch-body

{ ***alternative-seq*** }

alternative

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

case-label

case ***constant-expression*** :

default :

expressione:

- **comunemente costituita da una variabile a valori discreti (int, char, enum, ecc...);**

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 e' l'ultima, viene eseguita l'alternativa successiva.**

6.3.2 Istruzioni switch e break (III)

```
// Scrive asterischi (uso istruzione break)

#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;

    return 0;
}
```

```
Quanti asterischi?
2
**
```

6.3.2 Istruzioni switch e break (IV)

```
// Scrive asterischi (in cascata)

#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;

    return 0;
}
```

```
Quanti asterischi?
2
**
```


6.3.2 Istruzioni switch e break (V)

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

#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
    }

    return 0;
}
```

6.3.2 Istruzioni switch e break (VI)

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

```
Seleziona un'alternativa
A - Prima Alternativa
B - Seconda Alternativa
C - Terza Alternativa
Qualsiasi altro tasto per uscire
B
Seconda alternativa
```


6.3.2 Istruzioni switch e break (VII)

```
// Scrittura di enumerazioni

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    enum COLORE{ROSSO, GIALLO, VERDE};
    COLORE 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;
    }
    /* ... */
```

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";
    }
    cout << endl;

    return 0;
}
```

```
Seleziona un colore
R - rosso
G - giallo
V - verde
v
VERDE
```


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 <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;

    return 0;
}
```

```
Quanti asterischi?
6
******
```

6.4.1 Istruzione while (I)

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

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

     return 0;
}
```

```
Quanti asterischi?
6
******
```


6.4.1 Istruzione while (II)

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

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
     int n;
     cout << "Quanti asterischi? " << endl;
     cin >> n;
     while (n-- > 0)
          cout << '*';                   // al termine, n vale -1
     cout << endl;

     return 0;
}

//~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~//
// Scrive n asterischi, con n dato (iv)

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
     int n;
     cout << "Quanti asterischi? " << endl;
     cin >> n;
     while (n--)                         // non termina se n < 0
          cout <<'*';
     cout << endl;

     return 0;
}
```

6.4.1 Istruzione while (III)

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

#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;
    }

    return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
1
2
Inserisci un numero intero
3
6
Inserisci un numero intero
-2
```

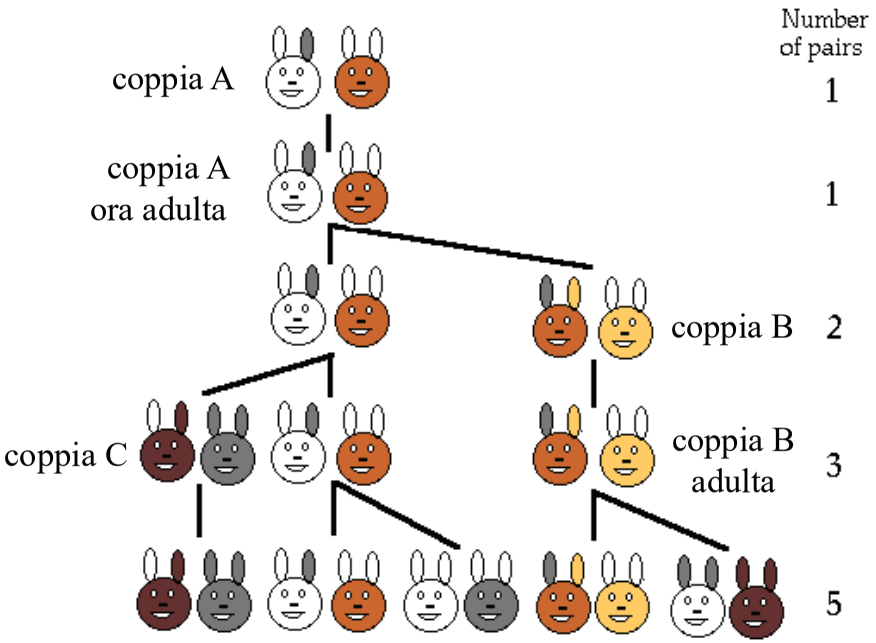

6.4.1 Istruzione while (IV)

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

// Esempio: dato n = 8, il programma deve stabilire che
// il massimo intero m vale 3, in quanto
// 1+2+3 = 6, che è minore o uguale ad 8, mentre
// 1+2+3+4 = 10, che è maggiore di 8


#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;

    return 0;
}
```

```
Inserisci n
8
3
```

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:
//    an = an-1 + an-2
//    a1 = 1
//    a0 = 0

#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;
    }

    return 0;
}
```

```
Inserisci n
7
5
```

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 <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;
     }

     return 0;
}
```

```
Inserisci n
7
5
```


6.4.2 Istruzione do (I)

do-statement

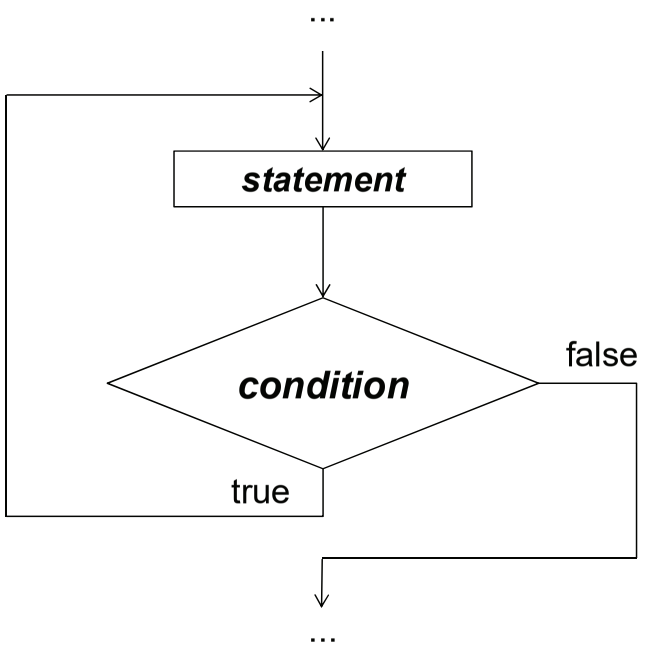
do ***statement*** while (***condition***) ;

Esecuzione dell'istruzione do:

- **viene eseguita l'istruzione racchiusa tra *do* e *while* (corpo del *do*);**
- **viene valutata la condizione;**
- **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 (III)

```
// Leggi un intero n da tastiera. Dopodichè leggi una
// sequenza di interi e sommali, finchè la loro somma
// non supera n

#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
   int n, i, s = 0, count = 0;
   cout << "Inserisci n " << endl;
   cin >> n;

   do{
      cout << "Inserisci il prossimo intero " << endl;
      cin>>i;
      s += i;
      count++;
   } while ( s <= n);
   cout << "La somma dei primi " <<count;
   cout << " numeri inseriti vale "<<s;
   cout <<" ( > "<<n<<" )"<<endl;

   return 0;
}
```

```
Inserisci n
11
Inserisci il prossimo intero
7
Inserisci il prossimo intero
5
La somma dei primi 2 numeri inseriti vale 12 ( > 11 )
```


6.4.2 Istruzione do (III)

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

0,1,1,2,3,5,8,13, ...

```
#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;
     }

     return 0;
}
```

```
Inserisci n
7
5
```

6.4.3 Istruzione for (I)

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

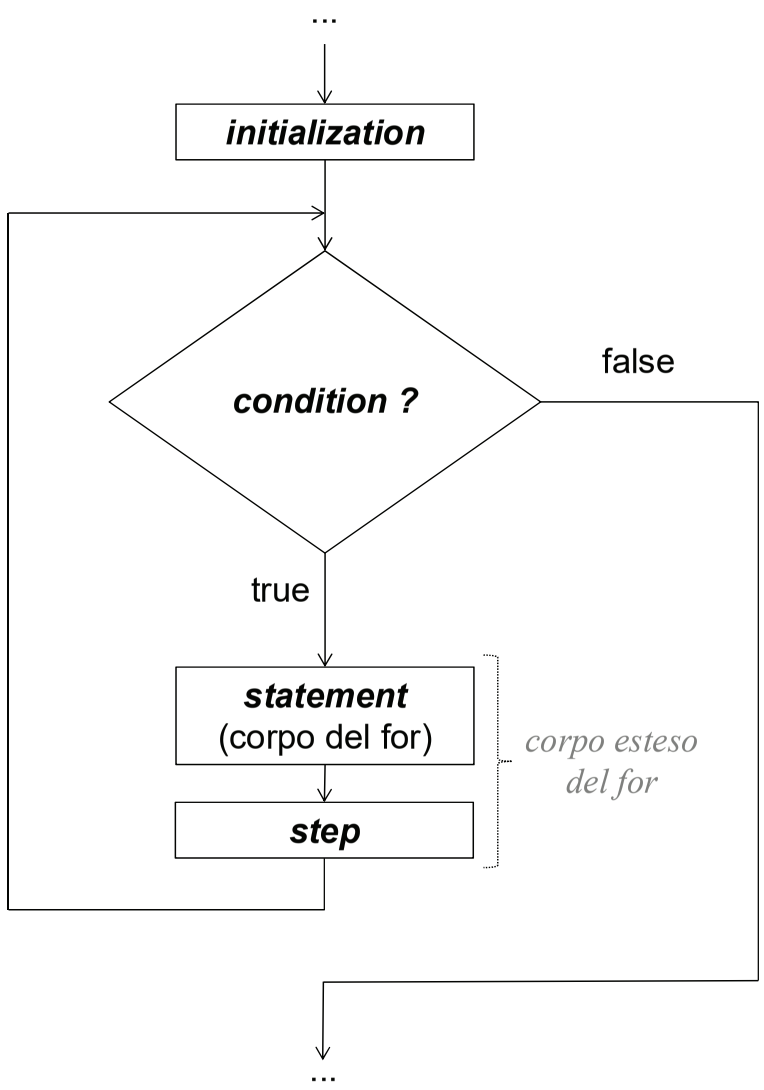
initialization
expression|opt
definition|opt

condition
bool (*expression*|opt)
step
expression|opt

Comportamento:
L'istruzione for viene eseguita come se fosse scritta nel seguente modo:

```
{
    initialization   // init. eseguita una sola volta (all'inizio)
    while ( condition )
    {    // corpo esteso del for (include lo step)
        statement  // corpo del for (step escluso)
        step ;
    }
}
```


6.4.3 Istruzione for (II)



6.4.3 Istruzione for (III)

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

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

    return 0;
}
```

```
Quanti asterischi?
6
******
```


6.4.3 Istruzione for (IV)

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

// variante 1
#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
    int n;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> n;
    for (; n > 0; n--)
        cout << '*';              // al termine, n vale 0
    cout << endl;

    return 0;
}

// variante 2
#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
    int n;
    cout << "Quanti asterischi? " << endl;
    cin >> n;
    for ( ; n > 0; ){
        cout << '*';              // al termine, n vale 0
        n--;
    }
    cout << endl;

    return 0;
}
```

6.4.3 Istruzione for (V)

```
// Scrive asterischi e punti esclamativi (I)

#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++)          // visibilita' i limitata
               cout << '!';               // al blocco for
     cout << endl;

     return 0;
}
```

```
Quanti?
6
******
!!!!!!
```


6.4.3 Istruzione for (VI)

```
// Scrive asterischi e punti esclamativi (II)

#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;

     return 0;
}
```

```
Quanti?
6
******
!!!!!!
```

6.4.3 Istruzione for (VII)

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

#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 << '*';
        cout << endl;
    }

    return 0;
}
```

```
Numero di righe?
3
Numero di colonne?
5
*****
*****
*****
```


6.4.3 Istruzione for (VII)

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

// variante 1 (del tutto equivalente alla soluzione prec.)
#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
    int r, c, i, j;
    cout << "Numero di righe? " << endl;
    cin >> r;
    cout << "Numero di colonne? " << endl;
    cin >> c;
    for (i = 0; i < r; i++){
        j = 0;                  // ora è più chiaro ancora
        for ( ; j < c; j++)     // che l'istr. j=0; viene eseguita
            cout << '*';        // ogni volta che viene eseguita
        cout << endl;           // l'iterazione più esterna (righe)
    }

    return 0;
}
```

```
Numero di righe?
3
Numero di colonne?
5
*****
*****
*****
```

6.5 Istruzioni di salto

jump-statement

break-statement

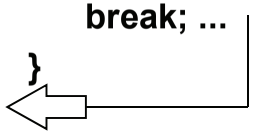
continue-statement

goto-statement

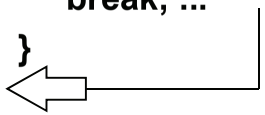
return-statement

- **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 <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int j;
    for (;;)      // ciclo infinito; altra forma:  while(true)
    {
        cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
        cin >> j;
        if (j < 0)
            break;
        cout << j << endl;
    }

    return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
3
3
Inserisci un numero intero
5
5
Inserisci un numero intero
-1
```

6.5.1 Istruzione break (II)

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

#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;
    }

    return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
3
3
Inserisci un numero intero
5
5
Inserisci un numero intero
-1
```


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

```
while (….)
{ …
    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 <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;
    }

    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
```

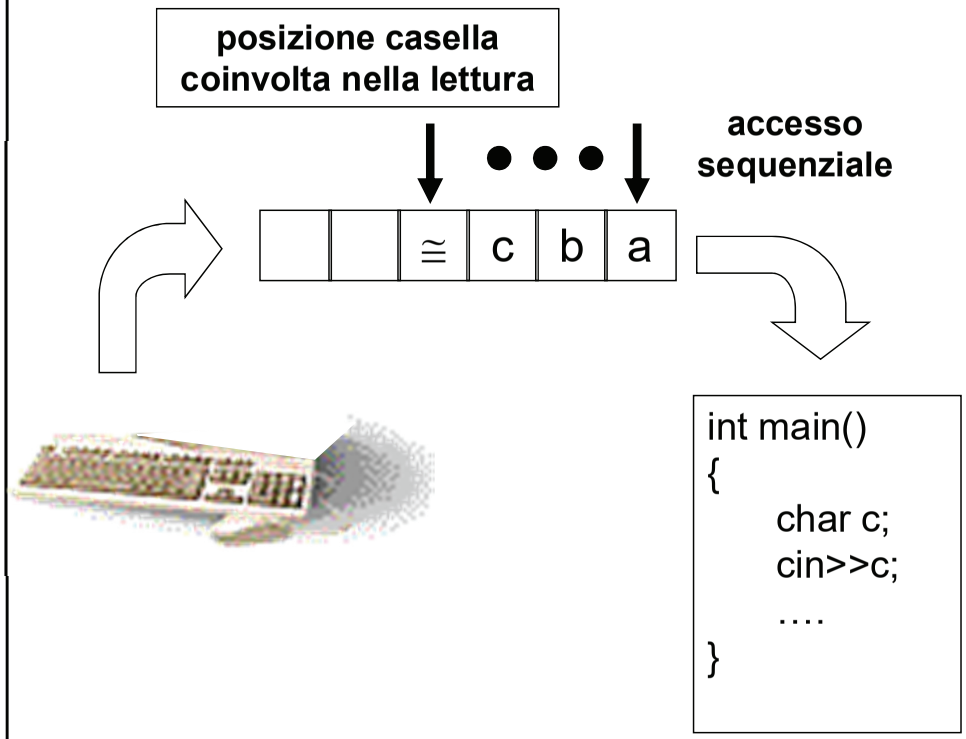

5.1 Concetto di stream (I)

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 Linux/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.

Lettura 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 <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;
    }

    return 0;
}
```

```
Inserisci un carattere
a  wq
a
Inserisci un carattere
w
Inserisci un carattere
```

5.2 Lettura di Caratteri (III)

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

#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;
    }

    return 0;
}
```

```
Inserisci un carattere
a  wq
a
Inserisci un carattere

Inserisci un carattere

Inserisci un carattere
w
Inserisci un carattere
```


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 <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    int i, j;
    cout << "Inserisci due numeri interi " << endl;
    cin >> i;
    cin >> j;
    cout << i << endl << j << endl;

    return 0;
}
```

```
Inserisci due numeri interi
-10     3
-10
3
```

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 <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    float f, g;
    cout << "Inserisci due numeri reali " << endl;
    cin >> f;
    cin >> g;
    cout << f << endl << g << endl;

    return 0;
}
```

```
Inserisci due numeri reali
-1.25e-3       .1e4
-0.00125
1000
```


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 <iostream>
using namespace std;
int main()
{
        float f, g;
        cout << "Inserisci due numeri reali " << endl;
        cin >> f>>g;
        cout << f << endl << g << endl;

        return 0;
}
```

```
Inserisci due numeri reali
-1.25e-3       .1e4
-0.00125
1000
```

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 D nei sistemi Unix-Linux (Ctrl-D), e 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 <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;
     }

    return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
3
Numero intero: 3
Inserisci un numero intero
x
```

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 <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;
      }

     return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
3
Numero intero: 3
Inserisci un numero intero
x
```


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 <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;
      }

     return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
3
Numero intero: 3
Inserisci un numero intero
x
```

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 <iostream>
using namespace std;
int main()
{
     int i;
     while (cout << "Inserisci un numero intero " << endl
                 && cin >> i)
          cout << "Numero intero: " << i << endl;

     return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero
3
Numero intero: 3
Inserisci un numero intero
x
```


5.3 Errori sullo stream di ingresso (VI)

```
// Legge e stampa caratteri.
// Termina quando viene inserito il fine stream
// ATTENZIONE! Nei sistemi operativi DOS/WINDOWS
// usare ^Z al posto di ^D per interrompere la lettura

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
     char c;
     while (cout << "Inserisci un carattere " << endl &&
                 cin>>c)
          cout << "Carattere: " << c << endl;
     return 0;
}
```

```
Inserisci un carattere
s  e
Carattere: s
Inserisci un carattere
Carattere: e
Inserisci un carattere
a
Carattere: a
Inserisci un carattere
^D
```

5.3 Errori sullo stream di ingresso (VII)

```
// Legge e stampa caratteri.
// Termina quando viene inserito il fine stream

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
     char c;
     while (cout << "Inserisci un carattere " << endl  &&
               cin.get(c))
          cout << "Carattere: " << c << endl;

     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
^D
```


5.3 Errori sullo stream di ingresso (VIII)

```
// Uso della funzione membro clear()

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

```
Inserisci i caratteri (termina con ^D)
a
a
^D
Inserisci i caratteri (termina con ^D)
Stream in stato di errore
Inserisci i caratteri (termina con ^D)
^D
```

5.3 Errori sullo stream di ingresso (IX)

```
#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;
    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-stetement

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 (I)

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 Linux/DOS/Windows (*scrivi.exe* è un file eseguibile):

```
scrivi.exe > file.out
```


5.4 Istruzione di scrittura (II)

```
#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 << ' ' << f << endl;
    cout << d << endl;
    cout << hex << 10 << '\t' << 11 << endl;
    cout << oct << 10 << '\t' << 11 << endl;
    cout << dec << 10 << '\t' << 11 << endl;
    return 0;
}
```

```
0.01564
0.016   1.2
0.016
    0.016 1.2
0.016
a       b
12      13
10      11
```

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;
    return 0;
}
```

```
0    1    2    3
```

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;

    return 0;
}
```

```
0    1    2    3
Errore nella lettura del file
```


5.5 Manipolazione dei file (VI)

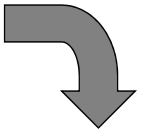
```
// Esempio apertura in append.
#include <cstdlib>
#include <fstream>
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
    fstream ff;
    int i; char c;
    ff.open("esempio", ios::out);
    if (!ff)
    {   cerr << "Il file non puo' essere aperto" << endl;
        exit(1);
    }
    for (int 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;
    return 0;
}
```

```
0    1    2    3    5    6
```

5.5 Manipolazione dei file (VII)

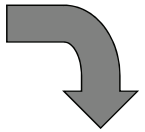
Versioni alternative

```
fstream ff;
ff.open("file", ios::in);
```



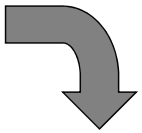
```
ifstream ff("file");
```

```
fstream ff;
ff.open("file", ios::out);
```



```
ofstream ff("file");
```

```
fstream ff;
ff.open("file", ios::out|ios::app);
```



```
ofstream ff("file",ios::app);
```


7.1 Concetto di funzione (I)

```
// Problema

#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 */

     return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero: 4
Il fattoriale e': 24
Inserisci un numero intero: 5
Il fattoriale e': 120
```

7.1 Concetto di funzione (II)

```
// Soluzione 1

#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 */

    return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero: 4
Il fattoriale e': 24
Inserisci un numero intero: 5
Il fattoriale e': 120
```


7.1 Concetto di funzione (III)

```
// Soluzione 2

#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 */

    return 0;
}
```

```
Inserisci un numero intero: 4
Il fattoriale e': 24
Inserisci un numero intero: 5
Il fattoriale e': 120
```

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:

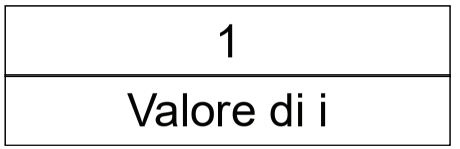
- **nuova copia degli argomenti formali e delle variabili locali (nascono e muoiono con l'inizio e la fine della esecuzione della funzione);**
- **il valore di una variabile locale ottenuto durante una certa esecuzione della funzione non viene conservato per le successive istanze.**

7.1 Concetto di funzione (V)

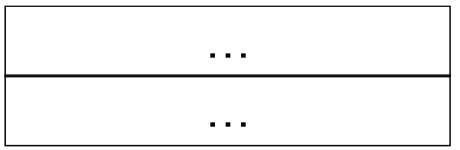
- **Quando una funzione viene invocata, viene creata in memoria un'istanza della funzione;**
- **L'istanza ha un tempo di vita pari al tempo di esecuzione della funzione**

// Istanza di funzione

Esempio: funzione *int fatt(int n)* precedente



Esempio: funzione main() precedente



7.3.1 Istruzione return (I)

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

#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()
{
    unsigned int n;
    cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
    cin >> n;
    cout << "Termine successione Fibonacci: ";
    cout << fibo(n) << endl;

    return 0;
}
```

…	int s
1	int j
0	int i
Valore di n(main)	int n

Istanza della funzione fibo()

…	int n

Istanza della funzione main()

```
Inserisci un numero intero
12
Termine successione Fibonacci: 8
```


7.3.1 Istruzione return (II)

```
// Controlla se un intero e' positivo, negativo o nullo

#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;
    }
    return 0;
}
```

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
```

Prima istanza funzione segno()

-10 int n

Seconda istanza funzione segno()

3 int n

Terza istanza funzione segno()

0 int n

7.4 Dichiarazioni di funzioni (I)

```
// Controlla se i caratteri letti sono lettere minuscole o
// numeri.

#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{
     char c;
     while (cout << "Carattere:? " << endl && cin >> c)
     if (!is_low_dig(c))          // ERRORE!
     {

          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)

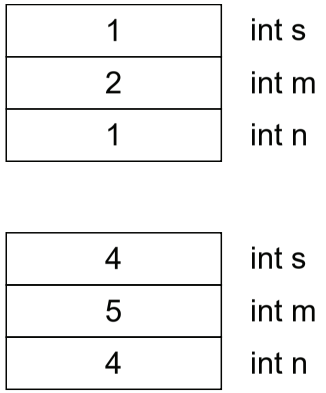
```
// Controlla se i caratteri letti sono lettere minuscole o
// numeri.

#include <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))
     {

          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
```


7.6 Argomenti e variabili locali (I)

```
// Somma gli interi compresi tra i dati interi n ed m,
// estremi inclusi, con n <= m

#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;

     return 0;
}
```

```
Due interi? 1 2
3
Due interi? 4 5
9
Due interi? s
```



7.6 Argomenti e variabili locali (II)

```
// Calcola il massimo fra tre numeri interi

 #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;

     return 0;
}
```

```
Inserisci tre numeri: 3 4 5
5
Inserisci tre numeri: 3.3 4.4 5.5
5
```


7.7 Funzioni void

```
// Scrive asterischi

#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);

     return 0;
}
```

```
Quanti asterischi? 20
********************
```

7.8 Funzioni senza argomenti

```
#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();

    return 0;
}
```

```
********************
```


7.9 Funzioni ricorsive (I)

Funzione:

- può invocare, oltre che un'altra funzione, anche se stessa;
- in questo caso si ha una una funzione *ricorsiva*.

Funzione ricorsiva:

- naturale quando il problema risulta formulato in maniera ricorsiva;
- esempio (fattoriale di un numero naturale *n*):

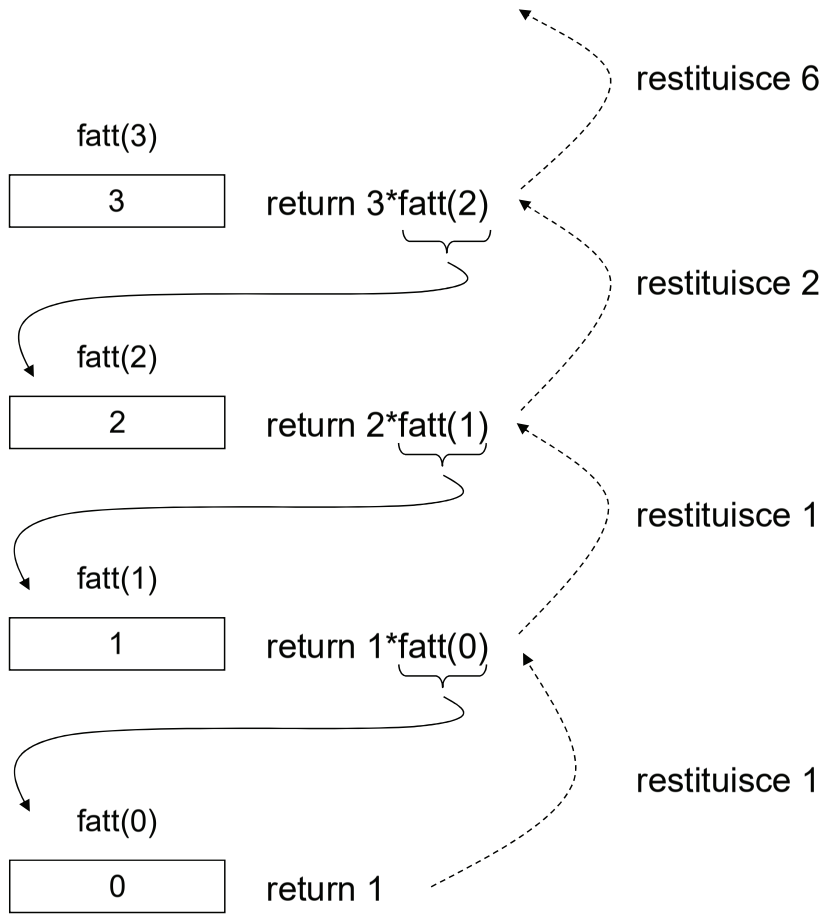
  fattoriale(n) = 1 se n = 0

  n*fattoriale(n-1) se n > 0

```
#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;

    return 0;
}
```

```
Il fattoriale di 3 e': 6
```

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:

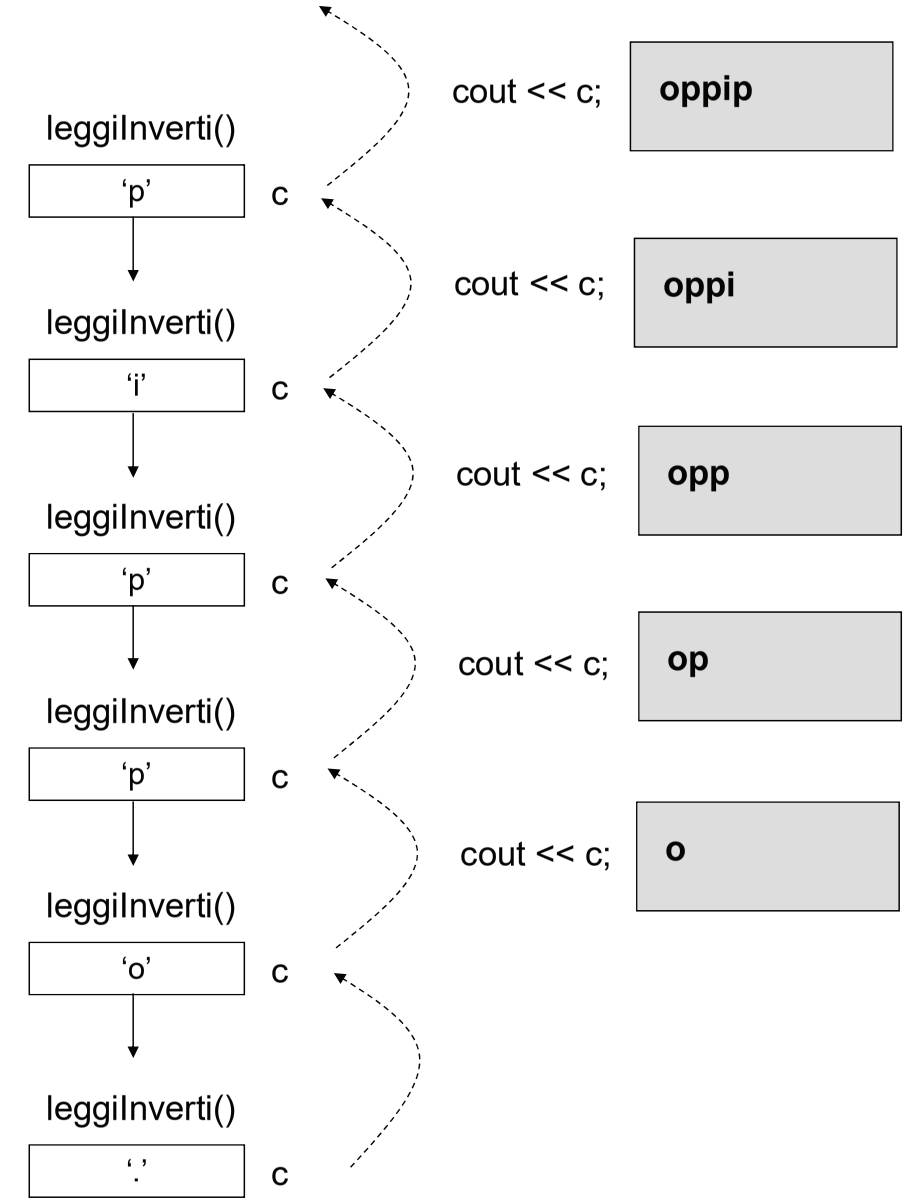
```
int fib(int n)
    {
      if (n == 1) return 0;
          if (n == 2) return 1;
               return fib(n - 1) + fib(n - 2);
    }
```

7.9 Funzioni ricorsive (IV)

```
// Legge una parola terminata da un punto, e la scrive
// in senso inverso. Per esempio, "pippo" diventa
// "oppip".

#include <iostream>
using namespace std;

void leggiInverti()
{
	char c;
	cin >> c;
	if (c != '.')
	{
		leggiInverti();
		cout << c;
	}
}

int main()
{
	leggiInverti();
	cout << endl;

	return 0;
}
```

```
pippo.
oppip
```


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, condizionatamente, 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 passandole 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

cstdlib

- *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)* arcoseno 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

reference-type-indicator
type-indicator &

reference-initializer
= ***object-name***

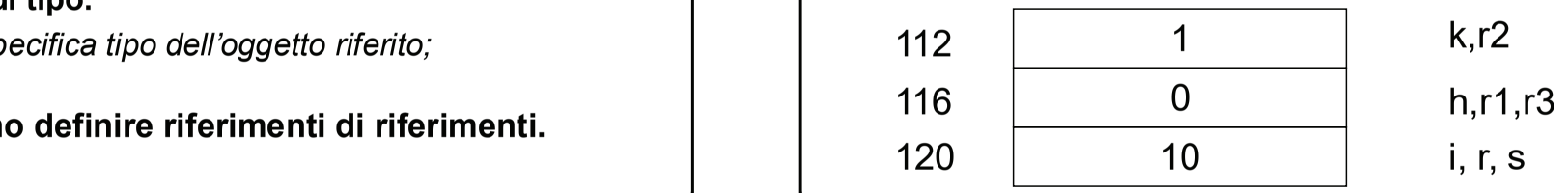
- **indicatore di tipo:**
  - *specifica tipo dell'oggetto riferito;*

Non si possono definire riferimenti di riferimenti.

8.2 Riferimenti (II)

```
#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, j=3;       // un riferimento ed un intero

        return 0;
}
```

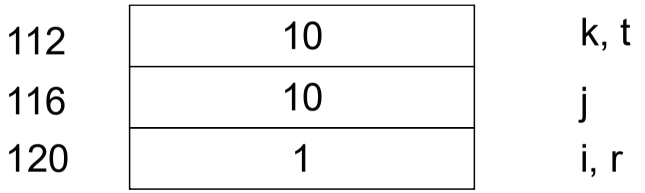
```
10    10    10
11    11    11
```



8.2.1 Riferimenti const (I)

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

int main (){
        int i = 1;
        const int &r = i;       // Notare: i non è costante

        cout<<r;                // 1
//      r=2;                    ERRORE!
        i = 2;                  // OK
        cout<<r;                // 2

        int j = 10;
        j = r;                  // OK
        cout << j << endl;      // 2

        const int k = 10;
        const int &t = k;       // OK
        cout << t << endl;      // 10
//      int &tt = k;            ERRORE!

        return 0;
}
```

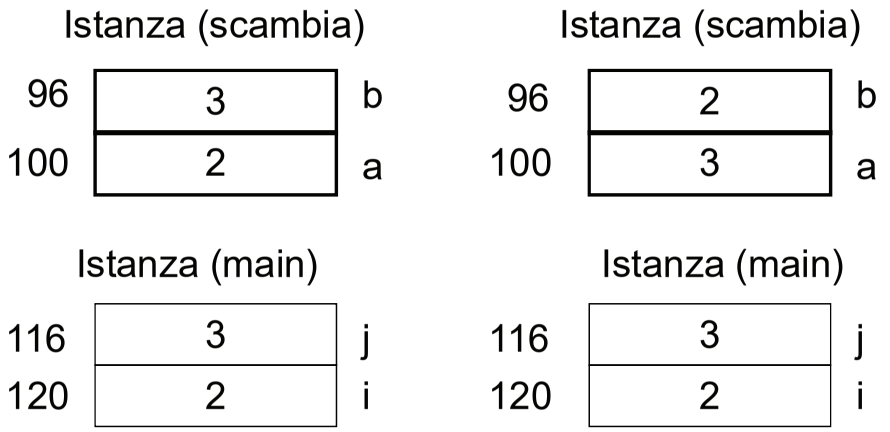
```
1
2
2
10
```



8.2.2 Riferimenti come argomenti (I)

```
// Scambia interi (ERRATO)

#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;                          // Esempio: 2   3
    scambia (i, j);
    cout << i << '\t' << j << endl;         // Esempio: 2   3

    return 0;
}
```

Questa qui sotto è la situazione un attimo prima che la funzione termini



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.**

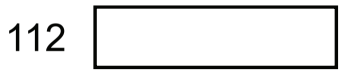
In sintesi:

- **la funzione agisce sulle entità riferite dagli argomenti attuali.**

8.2.2 Riferimenti come argomenti (III)

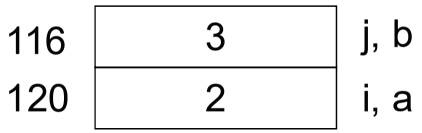
```
// Scambia interi (trasmissione mediante riferimenti)
#include <iostream>
using namespace std;

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;                          // Esempio: 2   3
    scambia (i, j);
    cout << i << '\t' << j << endl;         // Esempio: 3   2

    return 0;
}
```

Istanza (scambia)

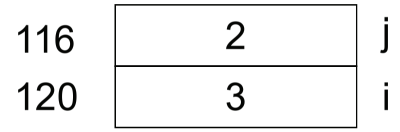


Situazione nel main quando la funzione termina

Istanza (main)



Istanza (main)



8.2.3 Riferimenti const come argomenti (I)

```
// Calcolo dell'interesse (trasmissione mediante
// riferimenti di oggetti costanti)

#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;

   return 0;
}
```

```
Interesse : 1200
```


8.2.2 Riferimenti risultato di funzione (I)

```
// Riferimenti come valori restituiti (i)


#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;                          // Esempio: 1 3
     cout << "Valore massimo ";
     cout << massimo(i, j) << endl;
     massimo(i, j) = 5;
     cout << i << '\t' << j << endl;         // Esempio: 1 5
     massimo(i, j)++;                        // l-value
     cout << i << '\t' << j << endl;         // Esempio: 1 6

     return 0;
}
```

```
Inserisci due interi:
1 3
Valore massimo 3
1       5
1       6
```

8.2.2 Riferimenti risultato di funzioni (II)

```
// Riferimenti come valori restituiti (ii)


#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 <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 <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

     return 0;
}
```

```
Inserisci due interi:
1 3
Valore massimo 3
```

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 <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;                              // Esempio: 1 3
     cout << "Valore massimo ";
     cout << massimo(i, j) << endl;
     massimo(i, j) = 5;
     cout << i << '\t' << j << endl;             // Esempio: 1 5

     return 0;
}
```

```
Inserisci due interi:
1 3
Valore massimo 3
1       5
```

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;
}
```


8.3 Puntatori (I)

Puntatore:

- **oggetto il cui valore rappresenta l'indirizzo di un altro oggetto o di una funzione.**

Tipo puntatore:

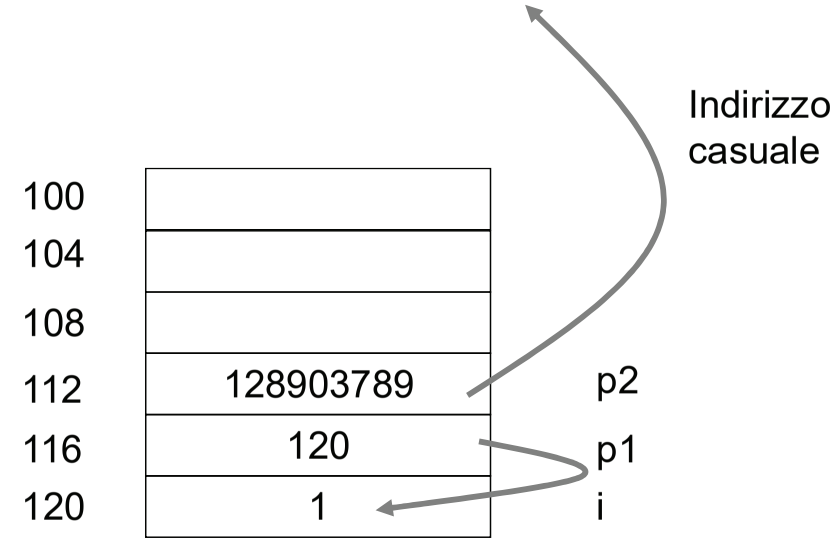
- **insieme di valori: indirizzi di oggetti o di funzioni di un dato tipo (il tipo dell'oggetto o della funzione determina il tipo del puntatore).**

Dichiarazione di un tipo puntatore e definizione di un puntatore sono contestuali.

```
// Definizione di puntatori

#include <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

    return 0;
}
```

8.3 Puntatori (II)

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
        int i = 1;
        int *p1 = &i;       // operatore indirizzo
        int *p2;
        …
}
```



8.3 Puntatori (III)

```
// Operatore indirizzo e operatore di indirezione

#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int i = 1;
    int *p1 = &i;       // operatore indirizzo
    *p1 = 10;           // operatore di indirezione
                        // 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;
    cout << &p1 << '\t' << &p2 << endl;

//  int *p3 = i;        // ERRORE: assegna un int ad un punt.
//  i = p1;             // ERRORE: assegna un punt. ad un int.

//  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.

}
```

```
10      10   10
20      20   20
120     120
116     112
```

8.3 Puntatori (IV)

```
// Puntatori allo stesso oggetto

#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    char a, b;
    char *p = &a, *q = &b;
    cout << "Inserisci due caratteri " << endl;
    cin >> a >> b;                          // Esempio: 'a'    'b'
    *p = *q;
    cout << a << '\t' << b << endl;         // Esempio: 'b'    'b'
    cout << *p << '\t' << *q << endl;       // Esempio: 'b'    'b'

    cout << "Inserisci due caratteri " << endl;
    cin >> a >> b;                          // Esempio: 'c'    'f'
    p = q;
    cout << a << '\t' << b << endl;         // Esempio: 'c'    'f'
    cout << *p << '\t' << *q << endl;       // Esempio: 'f'    'f'

    return 0;
}
```

```
Inserisci due caratteri
ab
b       b
b       b
Inserisci due caratteri
cf
c       f
f       f
```


8.3 Puntatori (V)

```
// Puntatori a costanti


#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int i = 0;
    const int *p;               // Nessuna inizializzazione

    p = &i;                     // OK
     // N.B.: i non e` costante

    int j;
    j = *p;                     // OK
//  *p = 1;                     // ERRORE! Il valore di i non puo'
                                // essere modificato attraverso p

    const int k = 10;
    const int *q = &k;          // OK

    int *qq;
//  qq = &k;                    // ERRORE! int* = const int*
//  qq = q;                     // ERRORE! int* = const int*

    return 0;
}
```

8.3 Puntatori (VI)

```
// Puntatori costanti

#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    char c = 'a';
    char *const p = &c;              // Sempre inizializzato
    cout << *p << endl;              // 'a'

    *p = 'b';
    cout << *p << endl;              // 'b'

    char d = 'c';
//  p = &d;                          // ERRORE!

    char  *p1, *const p2 = &d;
    p1 = p;
    cout << *p1 << endl;             // 'b'
//  p = p1;                          // ERRORE
//  p = p2;                          // ERRORE!

    return 0;
}
```

```
a
b
b
```


8.3 Puntatori (VII)

```
// Puntatore a puntatore

#include <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int i = 1, j = 10;
    int *pi = &i, *pj = &j;
    int **q1 = &pi;
    cout << **q1 << endl;                    // 1
    *q1 = pj;
    cout << **q1 << endl;                    // 10

    int **q2;
    *q2 = pj;      // ATTENZIONE: nessun oggetto puntato


    return 0;
}
```

```
1
10
```

8.3 Puntatori (VIII)

```
// Puntatori nulli

#include <iostream>
using namespace std;
int main (){
    int *p = nullptr;        // equivale a scrivere: int *p = 0;

    *p = 1;                  // ERRORE A TEMPO DI
                             // ESECUZIONE!

    if (p == nullptr)
        cout << "Puntatore nullo " << endl;
    if (p == 0)
        cout << "Puntatore nullo " << endl;
    if (!p)
        cout << "Puntatore nullo " << endl;

    return 0;
}

// Quando non esisteva la keyword nullptr, veniva
// usato il simbolo NULL, definito mediante la seguente
// direttiva del
// pre-processore:

#define NULL 0

// Torneremo sulle direttive del pre-processore alla
// fine del corso.

// NB: Il simbolo NULL viene definito da molte delle
// librerie standard, iostream inclusa
```


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 <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;                          // Esempio: 2     3
     scambia (i, j);
     cout << i << '\t' << j << endl;         // Esempio: 2     3

     return 0;
}
```

Istanza (scambia)

96	3	b
100	2	a

Istanza (scambia)

96	2	b
100	3	a

Istanza (main)

116	3	j
120	2	i

Istanza (main)

116	3	j
120	2	i

8.3.4 Puntatori come argomenti (II)

```
// Scambia interi (trasmissione mediante puntatori)
#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;                          // Esempio: 2     3
     scambia (&i, &j);
     cout << i << '\t' << j << endl;         // Esempio: 3     2

     return 0;
}
```

Istanza (scambia)

96	116	b
100	120	a

Istanza (scambia)

96	116	b
100	120	a

Istanza (main)

116	3	j
120	2	i

Istanza (main)

116	2	j
120	3	i

8.3.4 Puntatori come argomenti (III)

```
// Scambia interi (trasmissione mediante puntatori)
#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;                          // Esempio: 2     3
     int *p=i, *q = &j;
     scambia (p, q);  // le variabili puntatore p e q vengono
                      // passate alla funzione per valore
     cout << i << '\t' << j << endl;       // Esempio: 3     2
}
```

Istanza (scambia)

96	116	b
100	120	a

Istanza (main)

116	3	j
120	2	i

Istanza (scambia)

96	116	b
100	120	a

Istanza (main)

116	2	j
120	3	i

8.3.4 Puntatori come argomenti (IV)

```
// Incrementa il maggiore tra due interi

#include <iostream>
using namespace std;
void incrementa(int *a, int *b)
{
     if (*a > *b)
          (*a)++;                          // ATTENZIONE *a++
     else
          (*b)++;
}
int main ()
{
     int i, j;
     cout << "Inserisci due interi: " << endl;
     cin >> i >> j;                          // Esempio: 2 3
     incrementa(&i, &j);
     cout << i << '\t' << j << endl;       // Esempio: 2 4

     return 0;
}
```

Istanza (incrementa)

96	116	b
100	120	a

Istanza (main)

116	3	j
120	2	i

Istanza (incrementa)

96	116	b
100	120	a

Istanza (main)

116	4	j
120	2	i

8.3.4 Puntatori come risultato di funzioni (I)

```
// Puntatori come valori restituiti (i)

#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;                          // Esempio: 2 3
    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


    return 0;
}
```

```
Inserisci due interi:
2 3
Valore massimo 3
2       5
2       6
```


8.3.4 Puntatori come risultato di funzioni (II)

```
// Puntatori come valori restituiti (ii)


#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 <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
}
```

8.3.4 Puntatori come argomenti costanti (I)

```
// Trasmissione dei parametri

#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*'

    return 0;
}
```


8.3.4 Puntatori come argomenti costanti (II)

```
// Trasmissione di parametri mediante puntatori a
// costanti

#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;

    return 0;
}
```

8.3.4 Puntatori come risultato di funzioni

```
// Puntatori a costanti come valori restituiti

#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

    return 0;
}
```

```
Valore massimo 3
```


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 <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    const int N = 5;
    int v[N];              // dimensione del vettore costante
    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;

    return 0;
}
```

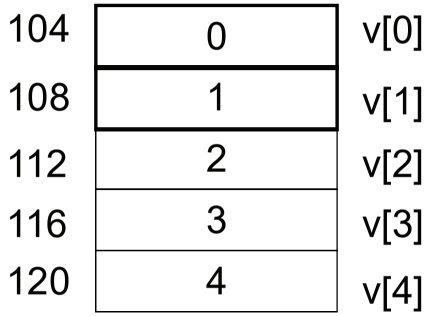
```
Inserisci 5 numeri interi
1 2 3 4 5
15
```

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;



9.1 Tipi e oggetti array (III)

```
// Inizializzazione degli array

#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;

    return 0;
}
```

```
Dimensioni array: 16    24
Numero di elementi: 4   6
0       1       2       3       37879712        2009179755
0       1       2       3       0       0
```

9.1 Tipi e oggetti array (V)

```
// Operazioni sugli array. NON SONO PERMESSE
// OPERAZIONI ARITMETICHE, DI CONFRONTO, DI
// ASSEGNAMENTO

#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

    return 0;
}
```

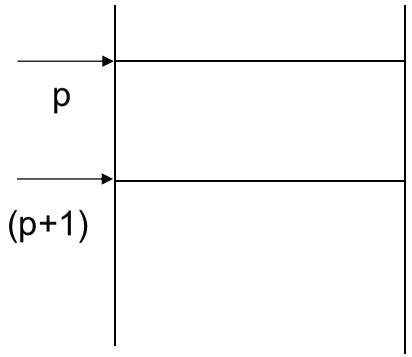
```
Ind. v:0x22ff18  Ind. u: 0x22ff38
Array diversi
Indirizzo v <= u
```


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 <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;                      // 1 (elementi)
    cout << int(p2) - int(p1) << endl;            // 4 (byte)

    return 0;
}
```


8.3.3 Array e puntatori (III)

```
// Inizializza a 1

#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);                // v[5] = [1 1 1 1 1]
    cout << ']' << endl;

    return 0;
}
```

```
v[5] = [1       1       1       1       1]
```

9.2 Array multidimensionali (I)

```
// Legge e scrive gli elementi di una matrice di R righe
// e C colonne

#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];                    // 1 2 3 4 5 6

    int* p = &m[0][0];                         // anche: m[0]

    for (int i = 0; i < R; i++)
    {                                          // memorizzazione per righe
        for (int j = 0; j < C; j++)
            cout << *(p + i*C + j) << '\t';
        cout <<  endl;
    }

    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
```

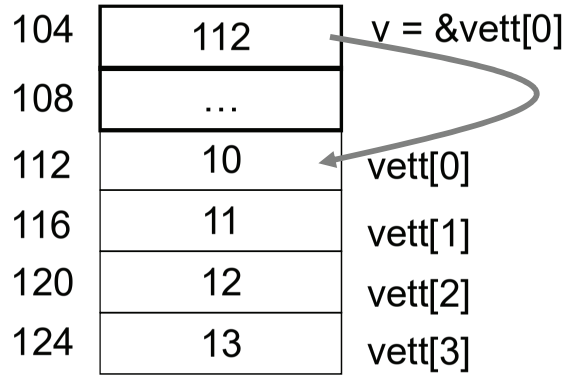

9.2 Array multidimensionali (II)

```
// Inizializzazione di vettori multidimensionali

#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;
    }

    return 0;
}
```

```
Matrice m1
1       2       3
4       5       6
Matrice m2
0       1       2
10      11      0
100     101     102
```

9.4 Array come argomenti di funzioni (I)

```
// Somma gli elementi di un dato vettore di interi (i)

#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': ";
     cout  << somma(vett) << endl;                    // 46

     return 0;
}
```



9.4 Array come argomenti di funzioni (II)

```
// Somma gli elementi di un dato vettore di interi (ii)
// (ERRATO)

#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

     return 0;
}
```

```
La somma degli elementi e':10
```

9.4 Array come argomenti di funzioni (III)

```
// Somma gli elementi di un dato vettore di interi (iii)

#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;

     return 0;
}
```

```
La somma degli elementi e': 46
```


9.4 Array come argomenti di funzioni (IV)

```
// Incrementa gli elementi di un dato vettore di interi (i)

#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);

     return 0;
}
```

```
[10 11 12 13]
[11 12 13 14]
```

9.4 Argomenti array costanti (I)

```
// Somma gli elementi di un dato vettore di interi (iv)

#include <iostream>
using namespace std;

int somma(const int v[], int n)      // gli elementi dell'array
{                                    // non possono essere
        int s = 0;                   // modificati
        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;

     return 0;
}
```

```
La somma degli elementi e': 46
```


9.4 Argomenti array costanti (II)

```
// Incrementa gli elementi di un dato vettore di interi (ii)

#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);

     return 0;
}
```

9.5.3 Argomenti array costanti (III)

```
// Trova il massimo valore in un dato vettore di interi

#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;

     return 0;
}
```

```
Quanti elementi? 2
[0] = 13
[1] = 45
Massimo: 45
```


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 <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);          ERRORE: tipo arg. diverso

    return 0;
}
```

```
Dimensione (ERRATA) 1
0    1    2
1    2    3
```


9.5.3 Array multidimensionali (III)

```
// Trasmissione mediante puntatori
 #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);

    return 0;
}
```

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 <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

    return 0;
}
```

```
4    3    3    4
```


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 <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    char stringa[12];     // al piu` 11 caratteri oltre a '\0'
    cout << "? ";
    cin >> stringa;              // Esempio: Prima stringa
                                 // Attenzione: nessun controllo
                                 // sulla dimensione
    cout << stringa << endl; // Esempio: Prima
    return 0;
}
```

```
? Prima stringa
Prima
```

9.3 Stringhe (III)

```
// Stringhe e puntatori

#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;                 // Pisa
    cout << s4 << endl;                 // Pisa

    char *const s5 = "oggi";
    char *const s6 = "domani";

//  s6 = s5;                            ERRORE!

    cout << (void *)s3 << endl;   // Per stampare il puntatore

    return 0;
}
```

```
Universita' di Pisa Toscana
Pisa
Pisa
0x40121d
```


9.3 Stringhe (IV)

```
// Conta le occorrenze di ciascuna lettera in una stringa

#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;

    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
```

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 <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);
```

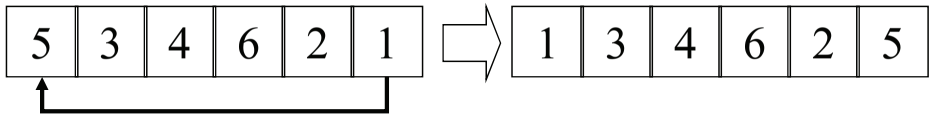

9.6 Funzioni di libreria sulle stringhe (IV)

```
    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;

    return 0;
}
```

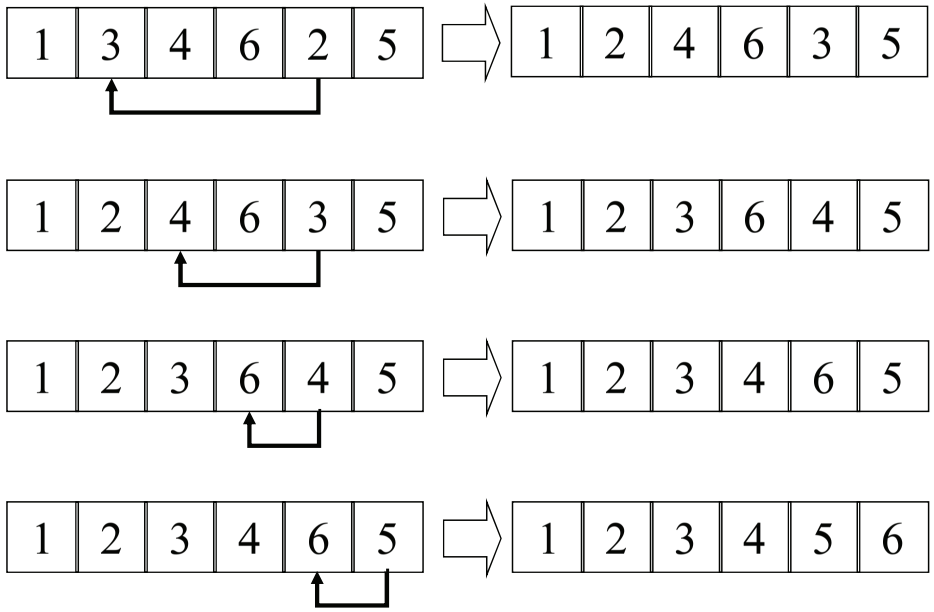
```
Dimensione degli array s1 e s4
7 30
Dimensione delle stringhe s1 e s4
6 6
Stringhe uguali
Stringhe diverse

Concatenazione di s1, s2 e s3
Corso di Informatica

Stringa dalla prima istanza di I
Informatica
```

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**



Ordinamento per selezione (selection-sort)

```
#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;
}
```

Ordinamento per selezione (selection-sort)

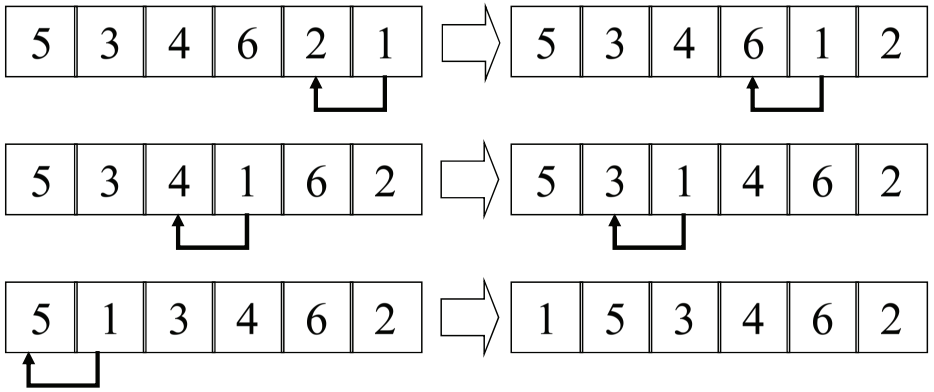
```
void selectionSort(T vettore[], int n)
{
    int min;
    for (int i = 0 ; i < n-1; i++)
    {
        min = i;
        for (int j = i + 1; j < n; j++)
            if (vettore[j] < vettore[min]) min = j;
        scambia(vettore,i,min);
    }
}

int main()
{
    T v[] =  {2, 26, 8, 2, 23};
    selectionSort(v, 5);
    stampa(v, 5);

    return 0;
}
```

```
[2 2 8 23 26]
```

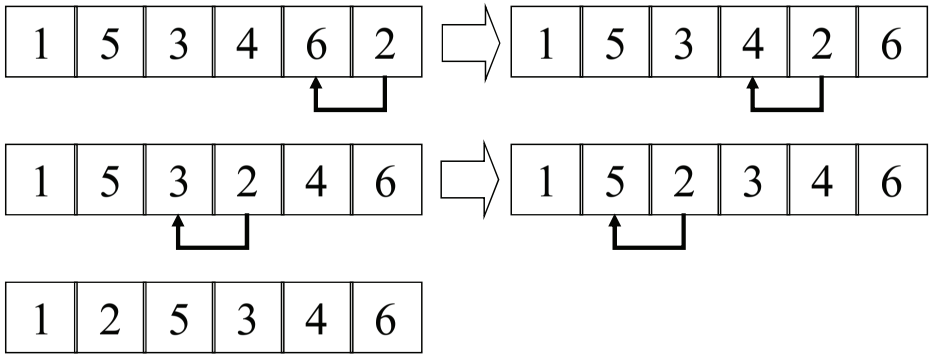
- Complessità dell'algoritmo dell'ordine di n^2, dove n è il numero di elementi nel vettore.

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



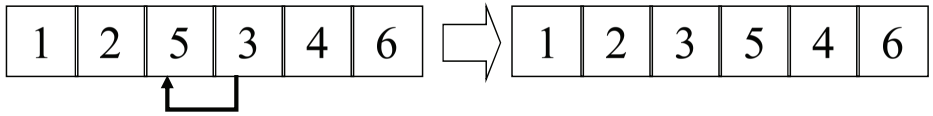
- Seconda volta



N.B.: i primi due elementi risultano ordinati

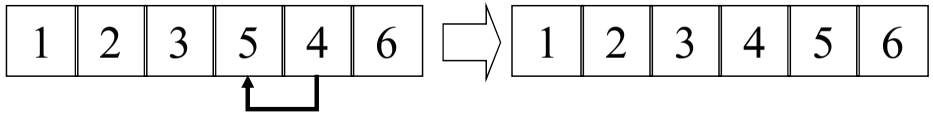
Ordinamento bubble-sort

- Terza volta



N.B.: i primi tre elementi risultano ordinati

- Quarta volta



N.B.: i primi quattro elementi risultano ordinati

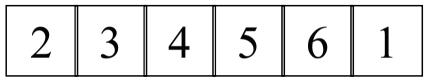
- Quinta volta
  - Nessun cambiamento

```
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);
}
```

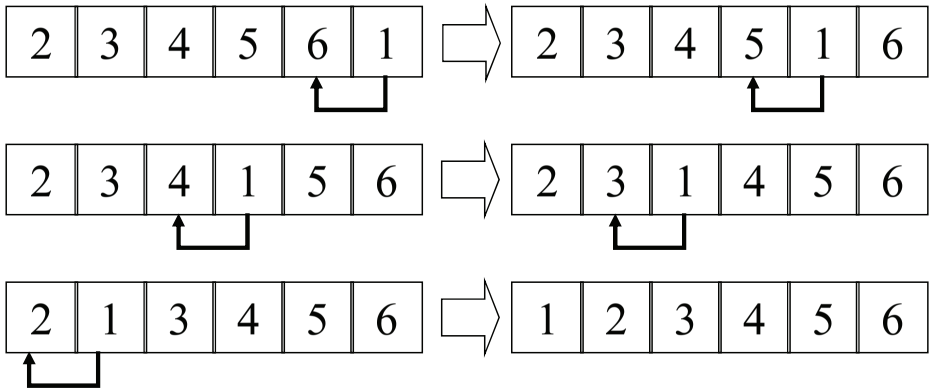
- Complessità dell'algoritmo dell'ordine di n^2, dove n è il numero di elementi nel vettore.

Ordinamento bubble-sort ottimizzato

Supponiamo che il vettore sia



- Prima volta



- Il vettore dopo il primo passo risulta ordinato.
- Inutile eseguire tutti i passi.

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);

    return 0;
}
```

```
[1 2 3 4 5]
```

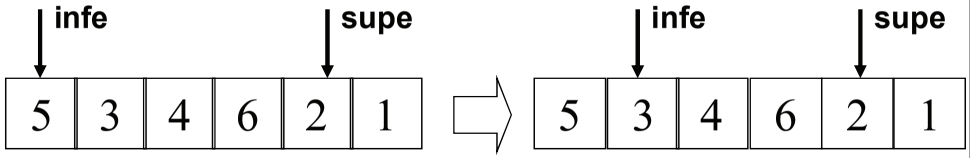
- L'algoritmo ottimizzato esegue due sole iterazioni invece delle quattro dell'algoritmo non ottimizzato

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 <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;                                  // individua la posizione
    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;

    return 0;
}
```

```
Posizione elemento cercato 4
Elemento cercato non presente
```

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;
}
```

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 <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'};
    int i;                                  // individua la posizione
    if (!ricbin(v, 0, 5, 'c', i))
        cerr << "Elemento cercato non presente " << endl;
    else
        cout << "Posizione elemento cercato " << i << endl;
                                        // 2
    return 0;
}
```


9.7 Esempio (I)

Esempio: ordinamento e ricerca in un vettore di stringhe

```
#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 << '[' << vettore[0];
        for (int i = 1; i < n; i++)
            cout << ' ' << vettore[i];
        cout << ']' << endl;
    }
}
```

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;
}
```


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;

    return 0;
}
```

```
?
mucca
?
anatra
?
zebra
?
cavallo
[mucca anatra zebra cavallo]
[anatra cavallo mucca zebra]
Ricerca ?
cavallo
Trovato in posizione 1
Ricerca ?
bue
Non trovato
```

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*|opt
{ *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;
};
```


10.1 Strutture (II)

```
// Punto

#include <iostream>
using namespace std;

struct punto
{
    double x;
    double y;
};

int main ()
{
    punto r, s;

    r.x = 3;                                  // selettore di membro
    r.y = 10.5;

    s.x = r.x;
    s.y = r.y + 10.0;

    cout << '<' << r.x << ", " << r.y << ">\n";
    cout << '<' << s.x << ", " << s.y << ">\n";

    punto *p = &r;
    cout << '<' << p->x << ", ";          // (*p).x
    cout << p->y << ">\n";                // (*p).y

    punto t = {1.0, 2.0};                 // inizializzazione
    cout << '<' << t.x << ", " << t.y << ">\n";

}
```

```
<3, 10.5>
<3, 20.5>
<3, 10.5>
<1, 2>
```

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;
};
```


10.1 Strutture (IV)

```
// Array di strutture

#include <iostream>
using namespace std;

struct punto
{    double x;  double y;};

const int MAX = 30;

int main ()
{
    struct poligono
    {
        int quanti;                   // numero effettivo di punti
        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";

}
```

```
Stampa del poligono
<3, 1>
<4, 10>
<3, 100>
```

10.1.1 Operazioni sulle strutture (I)

```
// Assegnamento tra strutture

#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


}
```

```
r1 = <3, 10>
r2 = <3, 10>
```

N.B.: Non sono definite operazioni di confronto sulle strutture.

10.1.1 Operazioni sulle strutture (II)

```
// Strutture come argomenti di funzioni e restituite da
// funzioni
```


```
#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;                     // Memorizza l'indice
    for (int i = 1; i < n; i++)
    {
        t = dist(&ins[i], p);
        if (min > t)
            { index = i; min = t; };
     }
     return ins[index];
}
```

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 << '<' << s.x << ", " << s.y << ">\n";

    return 0;
}
```

```
Dimensione argomento 16
Dimensione argomento 4
Distanza: 0.5
Punto piu' vicino: <3, 10>
```


10.1.1 Operazioni sulle strutture (IV)

```
// Copia di vettori

#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);

    return 0;
}
```

```
Stampa del vettore v1
[1 2 3]
Stampa del vettore v2
[1 2 3]
```

10.1.1 Operazioni sulle strutture (V)

```
// Trasmissione di vettori per valore

#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);              // Incrementa la copia
     cout << "Stampa del vettore v1 " << endl;
     stampa(v1, N);                  // [1 2 3]

     return 0;
}
```

```
Stampa del vettore v1
[1 2 3]
Stampa del vettore v2
[1 2 3]
```


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' };
```

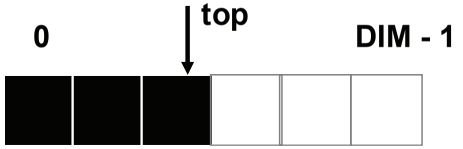
10.2 Unioni (II)

```
#include <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;            // a 65402

     return 0;
}
```

```
1      4
4      8
z      65402
a      65402
```


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 top == -1, la pila è vuota. Se top == DIM - 1, dove DIM è il numero massimo di elementi nella pila, la pila è piena.

```
#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)

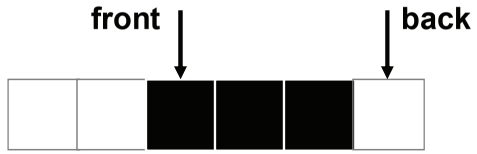
```
int main()
{
    pila st;
    inip(st);
    T num;
    if (empty(st)) cout << "Pila vuota" << endl;
    for (int i = 0; i < DIM; i++)
        if (push(st,DIM - i))
        cout << "Inserito " << DIM - i <<
             ". Valore di top: " << st.top << endl;
        else cerr << "Inserimento di " << 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);
    return 0;
}
```

10.3.1 Pila (IV)

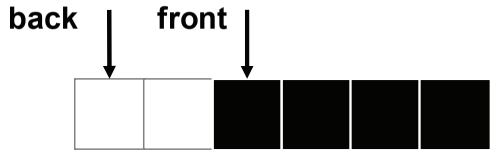
```
Pila vuota
Inserito 5. Valore di top: 0
Inserito 4. Valore di top: 1
Inserito 3. Valore di top: 2
Inserito 2. Valore di top: 3
Inserito 1. Valore di top: 4
Pila piena
Elementi contenuti nella pila:
[4] 1
[3] 2
[2] 3
[1] 4
[0] 5
Estratto 1. Valore di top: 3
Estratto 2. Valore di top: 2
Estratto 3. 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
```


10.3.2 Coda (I)

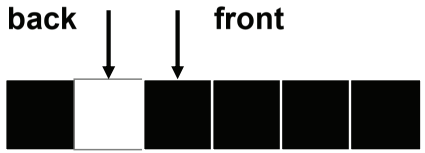
- Insieme ordinato di dati di tipo uguale, in cui è possibile effettuare operazioni di inserimento e di estrazione secondo la seguente regola di accesso: il primo dato inserito è il primo ad essere estratto (FIFO: First In First Out).



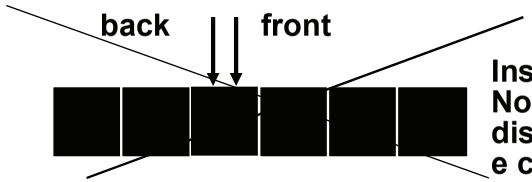
- Realizzata con un array circolare e due puntatori:
  - front – posizione da cui avviene l'estrazione;
  - back – posizione in cui avviene l'inserimento.



Inserimento di un elemento



Inserimento di un elemento



Inserimento di un elemento
Non sarebbe possibile discriminare tra coda vuota e coda piena

- front == back — coda vuota
- front == (back + 1) % DIM — coda piena
  - (ATTENZIONE al massimo DIM - 1 elementi

10.3.2 Coda (II)

```
#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;
}
```

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);

  return 0;
}
```


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
```

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;

   return 0;
}
```

```
2.5
4.5
```


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 <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;
   return 0;
}
```

11.2 Puntatori a funzione (II)

```
#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)();

      return 0;
}
```

```
5
due
0
uno
```


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 <iostream>
using namespace std;

double perimetro(int nLati, double lunghLato = 1.0)
{
    return nLati * lunghLato;
}

void f() {
//  double p = perimetro();                 ERRORE
//  cout << p << endl;
}

double perimetro(int nLati = 3, double lunghLato = 1.0);

void g()
{
    double p = perimetro();                 //OK
    cout << p << endl;
}

int main ()
{
    f();
    g();

    return 0;
}
```

```
3
```


11.4 Overloading (I)

```
#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;

    return 0;
}
```

```
Massimo per interi 15
Massimo per double 13.5
Massimo per interi 114
```

11.4 Overloading (II)

```
// Sovrapposizione const - non const

#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;

    return 0;
}
```

```
Array const 100
Array non const 100
```


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 <iostream>
using namespace std;
int main ()
{
    int i = 1;
    typedef int* intP;
    intP p = &i;
    cout << *p << endl;                          // 1

    typedef int vett[5];                 // vettore di 5 interi
    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 << '\t' << b << endl;              // 4 4

    return 0;
}
```

```
1
v = [1 10 100 10 1]
4       4
```

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*.

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 <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];             // n > 0
   for (int i = 0; i < n; i++)
         p[i] = i;              // anche *(p+i) = i;

    return 0;
}
```

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];
   return 0;
}
```


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 SEGNALA ERRORE
   p = 0;
 // cout << *p << endl;
 // SEGNALA ERRORE A TEMPO DI ESECUZIONE
   int* m = new int [n];
   delete[] m;
//  delete n;
//  ERRORE - oggetto non allocato dinamicamente

   return 0;
}
```

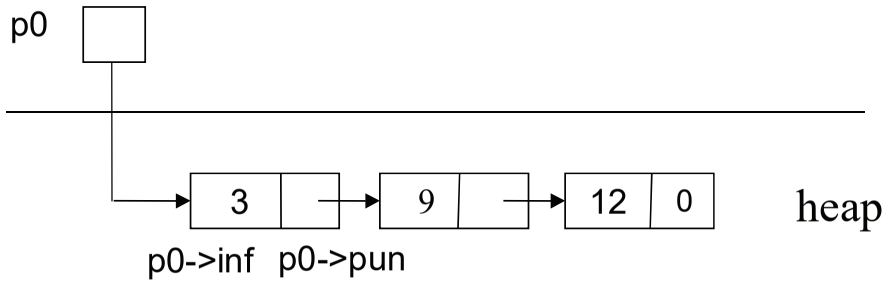
13.2 Liste (I)

Problema: memorizzare numeri inseriti da tastiera finchè 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;
};
```

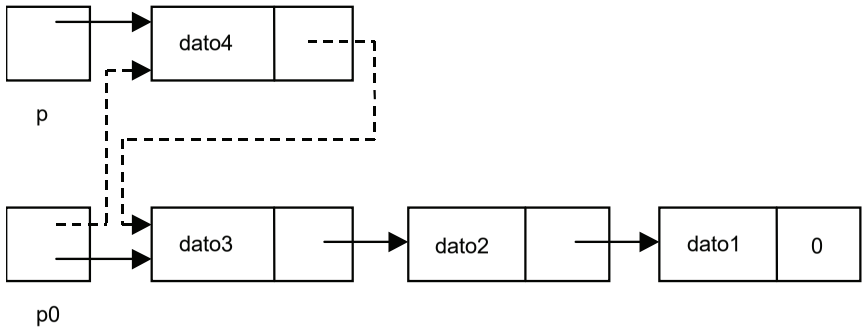


13.2 Liste (II)

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;
}
```



Stampa lista

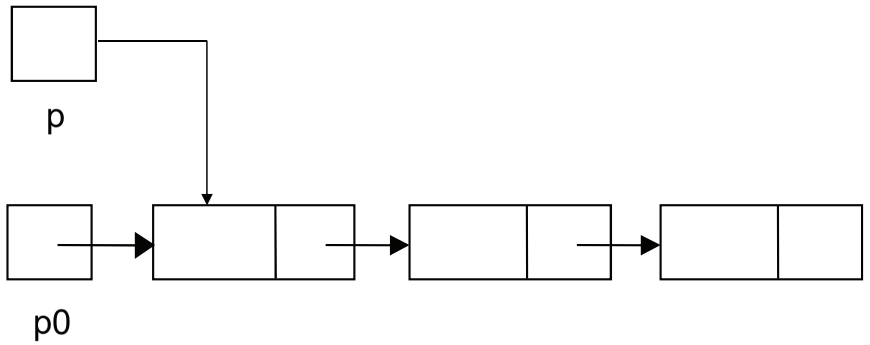
1. Scandire la lista dall'inizio alla fine e per ogni elemento stampare su video il campo informazione

```
void stampalista(lista p0)
{
    elem* p = p0;
    while (p != 0){
        cout << p->inf << ' ';
        p = p->pun;
    }
}
```

La condizione nel while poteva essere scritta anche come:
p != nullptr

oppure come
p != NULL

(quest'ultima però a patto di includere una libreria che definisce il simbolo NULL a zero, mediante define)



Dealloca lista

Ci sono diversi modi per deallocare dalla memoria ogni singolo elemento della lista. Ad esempio si può fare mediante funzione ricorsiva, sfruttando la ricorsione in coda.
Qui di seguito invece viene mostrata la soluzione iterativa.

```
void dealloca(elem* p0){
    elem* p = p0, *q;
    while (p != nullptr){
        q = p;
        p = p->pun;
        delete q;
    }
}
```

ATTENZIONE! L'implementazione sottostante è invece ERRATA! Ed è uno degli errori più frequenti!

```
void dealloca_errata(elem* p0){
    elem* p = p0;
    while (p != nullptr){
        delete p;
        p = p->pun;
    }
}
```

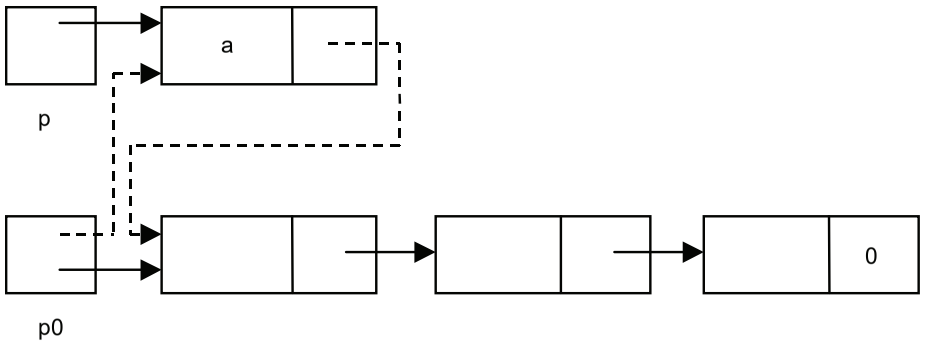
Qui starei provando ad accedere ad un oggetto senza nome di tipo elem, allocato sullo heap (l'oggetto elem puntato da p), che però ora non esiste più. Infatti esso è stato deallocato alla riga precedente!

13.2 Liste(V)

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;
}
```



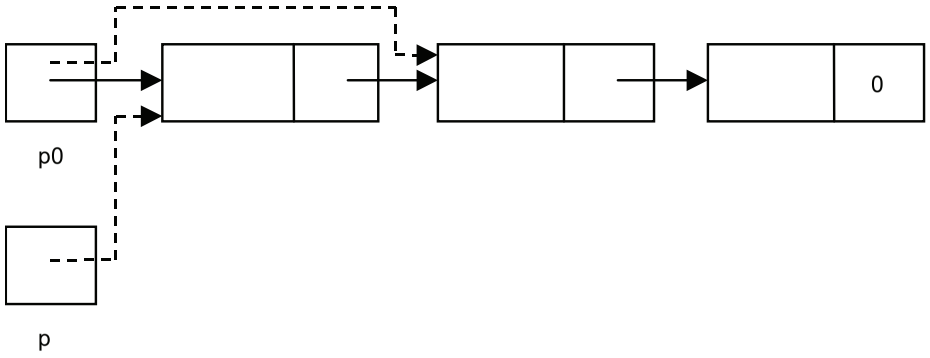
13.2 Liste(VI)

Estrazione dalla testa

Se la lista non è vuota

1. Aggiornare il puntatore di testa della lista
2. Deallocare l'elemento

```
bool esttesta(lista& p0, T& a)
{    elem* p = p0;
     if (p0 == 0)
          return false;
     a = p0->inf;
     p0 = p0->pun;
     delete p;
     return true;
}
```

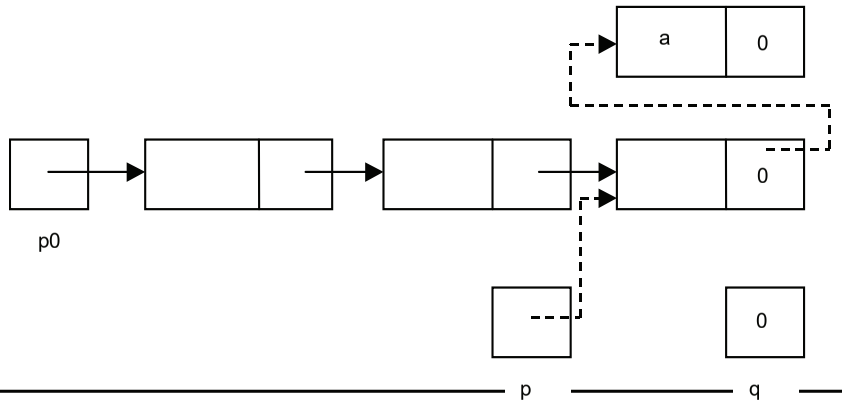


13.2 Liste(VII)

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;
}
```

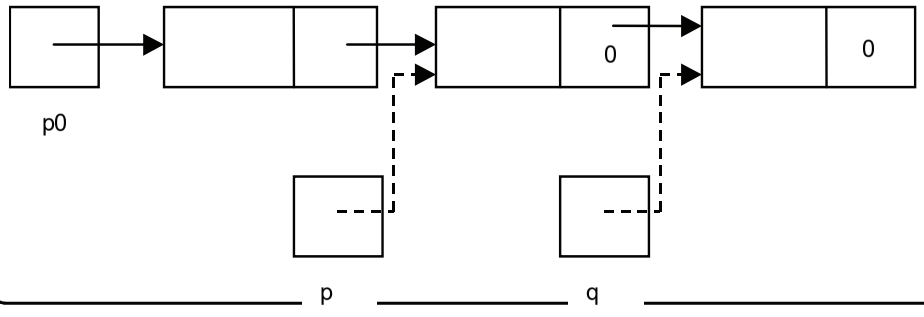


13.2 Liste(VIII)

Estrazione dal fondo

ATTENZIONE: necessita di due puntatori per scandire la lista

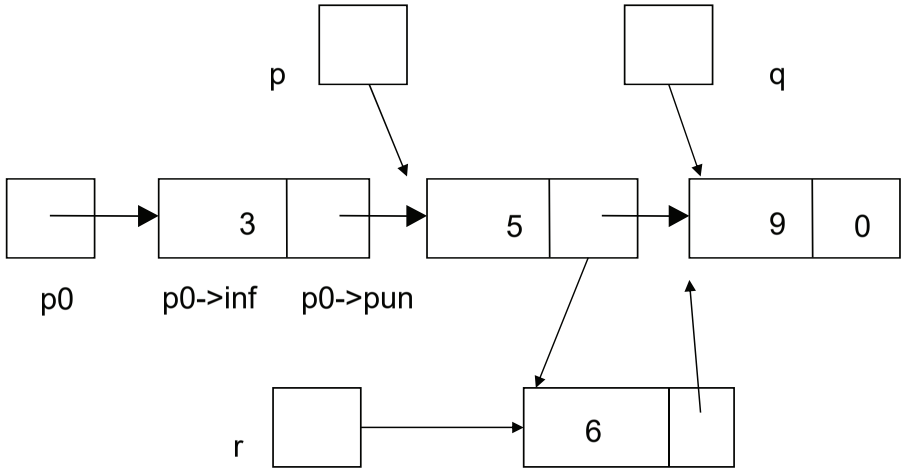
```
bool estfondo(lista& p0, T& a)
{
      elem* p = 0;
      elem* q;
      if (p0 == 0)
         return false;
      for (q = p0; q->pun != 0; q = q->pun)
         p = q;
      a = q->inf;
      // controlla se si estrae il primo elemento
      if (q == p0)
         p0 = 0;
      else
         p->pun = 0;
      delete q;
      return true;
}
```



13.2 Liste(IX)

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 ….

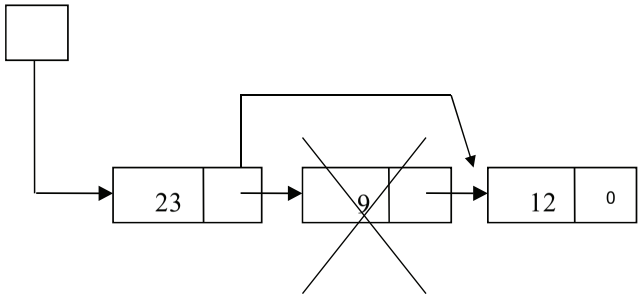



```
void inserimento(lista& p0, T a)
{       elem* p = 0; elem* q; elem* r;
        for (q = p0; q != 0 && q->inf < a; q = q->pun)
                p = q;
        r = new elem;
        r->inf = a; r->pun = q;
        // controlla se si deve inserire in testa
        if (q == p0) p0 = r; else p->pun = r;
}
```


13.2 Liste(X)

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

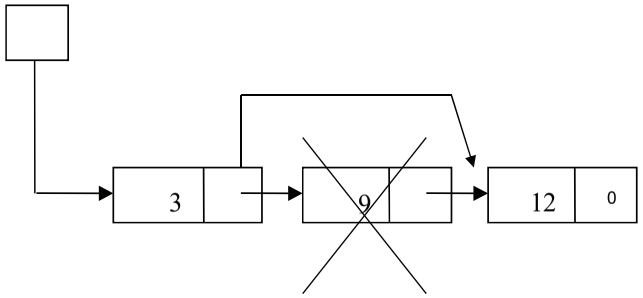



```
bool estrazione(lista& p0, T a)
{   elem* p = 0; elem* q;
    for (q = p0; q != 0 && q->inf != a; q = q->pun)
            p = q;
    if (q == 0) return false;
    if (q == p0)
            p0 = q->pun;
    else
            p->pun = q->pun;
    delete q;
    return true;
}
```

13.2 Liste(XI)

Estrazione di un elemento da una lista ordinata

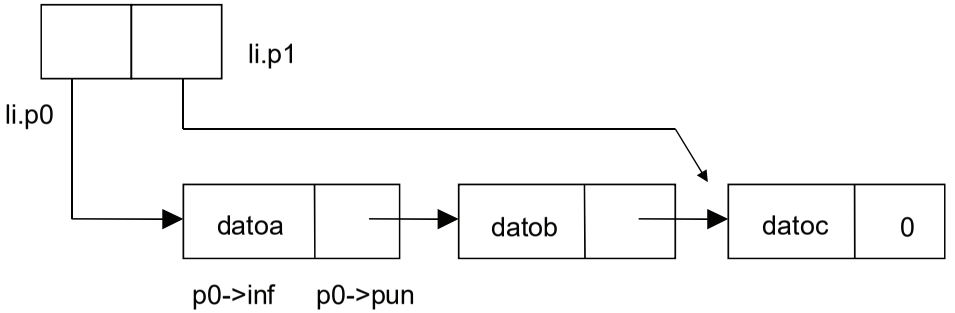
1. Scandire la lista finchè si incontra un elemento contenente l'informazione cercata o maggiore
2. Se trovato, collegare i due nodi adiacenti
3. Deallocare l'elemento




```
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)

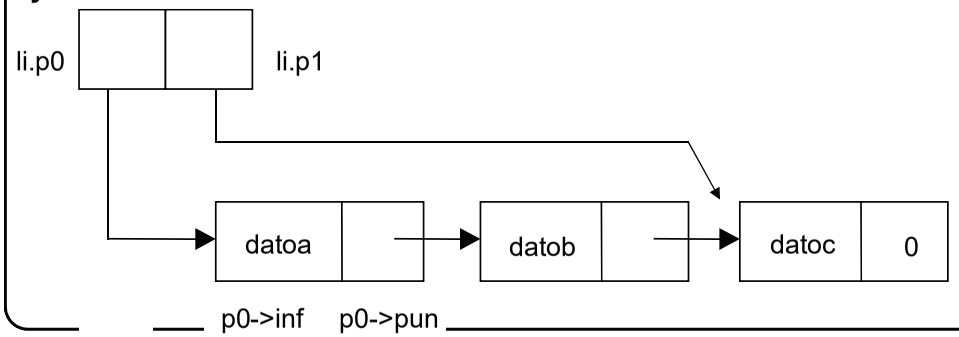
```
struct lista_n
{
     elem* p0;
     elem* p1;
};
```




```
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;
}
```

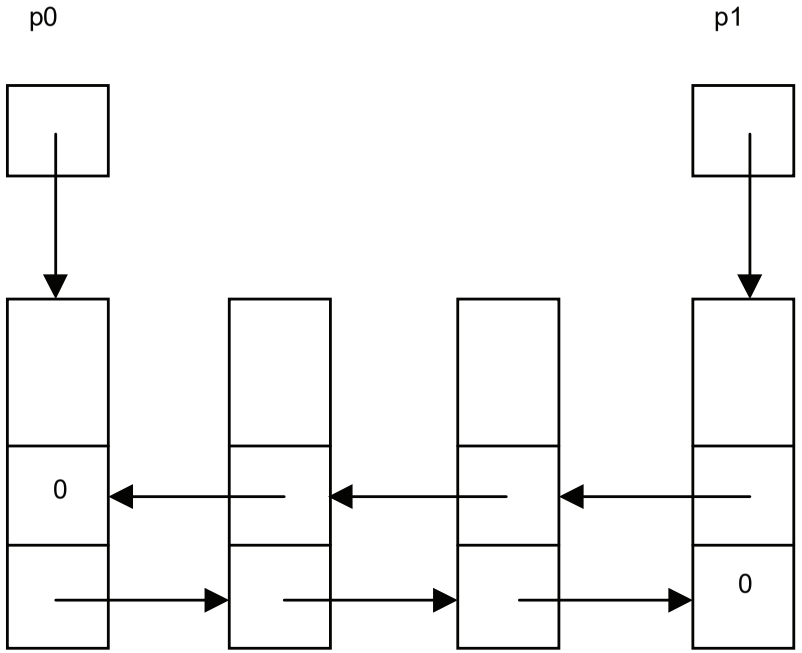
13.2 Liste con puntatore ausiliario (II)

```
bool esttesta1(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;
     }
}
```



13.3 Liste complesse

```
struct nu_elem
{
     T inf;
     elem* prec;
     elem* succ;
};

struct lista_c
{
     nu_elem* p0;
     nu_elem* p1;
};
```



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 <iostream>
using namespace std;
void f(){
    int i = 2;                          // visibilita' locale
    cout << i << endl;                  // 2
}

int main(){
    // cout << i << endl;                   ERRORE!

    int i = 1, j = 5;
    cout << i << '\t' << j << endl;         // 1 5
    {                                       // blocco
        cout << i << '\t' << j << endl;     // 1 5
        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!

    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 <iostream>
using namespace std;

int i;                  // visibilita' a livello di unità di compilazione

void leggi()        // visibilita' a livello di unità di compilazione
{
    cout << "Inserisci un numero intero " << endl;
    cin >> i;
}

void scrivi()       // visibilita' a livello di unità di compilazione
{
    cout << i << endl;
}

int main()
{
    leggi();
    scrivi();

}
```

```
Inserisci un numero intero
2
2
```

Identificatori di oggetti con visibilità a livello di unità di compilazione individuano oggetti condivisi da tutte le funzioni definite nell'unità di compilazione stessa.

14.4 Unità di compilazione (III)

```
// Operatore :: unario (risoluzione di visibilita')


#include <iostream>
using namespace std;

int i = 1;          // visibilita' a livello di unità di compilazione

int main()
{
    cout << i << endl;                          // 1
    {
        int i = 5;                              // visibilita' locale
        cout << ::i << '\t' << i << endl;       // 1 5
        {
            int i = 10;                         // visibilita' locale
            cout << ::i << '\t' << i << endl;   // 1 10
        }
    }
    cout << ::i << endl;                        // 1

    return 0;
}
```

```
1
1       5
1       10
1
```


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 unità di compilazione 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;
}
```

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;                         ERRORE
        due::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 unità di compilazione.
Per usare uno specifico identificatore si può usare la dichiarazione using.

```
 #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;
    }

}
```

```
4       3
2       5
```

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 unità di compilazione 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 unità di collegamento (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)
{                                   // a - collegamento interno
    int k;                          // k - collegamento interno
    /* ... */
}

// static, collegamento interno
static void f2()
{
    /* ... */
}

struct punto        // collegamento interno (dichiarazione)
{
    double x;
    double y;
};

punto p1;           // collegamento esterno
```

(continua ...)

14.6 Collegamento (IV)

```
// ------------------------ file file2.cpp----------------------- //

#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;               ERRORE!

    f1(a);                          // OK
//  f2();                           ERRORE!
//  f3();                           ERRORE!
//  punto p2;           ERRORE! punto non dichiarato
//  p1.x = 10;          ERRORE! P1 non dichiarato

    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.**

14.8 Classi di memorizzazioni

```
// Oggetti di classe automatica e di classe statica

#include <iostream>
using namespace std;
static int m;                          // inizializzato a zero
int contaChiamateErrata()
{                                      // ERRATA!
    int n = 0;                         // di classe automatica
    return ++n;
}
int contaChiamate()
{
    static int n = 0;                  // di classe statica
    ++m;
    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;
    }
}
```

```
1
1
1
1       1
2       2
3       3
```


14.8 Classi di memorizzazioni

```
// Attenzione: ordine (punti di sequenza)

#include <iostream>
using namespace std;
static int m;                          // inizializzato a zero
int contaChiamateErrata()
{                                      // ERRATA!
    int n = 0;                         // di classe automatica
    return ++n;
}
int contaChiamate()
{
    static int n = 0;                  // di classe statica
    ++m;
    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;

}
```

```
1
1
1
1       1
2       2
3       3
```

14.8 Classi di memorizzazioni

Facciamo un riassunto delle classi di memorizzazione:

Classe di memoriz-zazione	Esempio

Statica	int n = 10; // fuori definita fuori dai blocchi
	int main(){
	...
	}

Automatica	int main(){
	
	int a = 3; // variabile di blocco
	
	int *p = nullptr; // variabile puntatore
	// def. in un blocco
	return 0;
	}

Dinamica	int main(){
	int *p;
	p = new int; // in questo caso la variabile
	// intera senza nome (e
	// puntata da p) ha classe di
	// memorizz. **dinamica**
	
	// NB: ovviamente il puntatore p
	// ha classe di mem. automatica
	}

14.10 Effetti collaterali (I)

```
// Variabili globali

#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;

}
```

```
100
10      101
```

14.10 Effetti collaterali (II)

```
// Argomenti di tipo puntatore

#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;

}
```

```
100
10      101
```


14.10 Effetti collaterali (III)

```
// Problema: proprieta' associativa

#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;

}
```

```
201
10      102
-1
10      102
```

14.10 Effetti collaterali (IV)

```
// Problema: ordine di valutazione degli operandi

#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;

}
```

```
210
10      101
211
10      101
```


14.10 Effetti collaterali (V)

```
// Problema: ottimizzazione

#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;

}
```

```
210     212
210     210
```

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.**

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 <iostream>
#include "pila.h"
using namespace std;

// inizializzazione della pila
void inip(pila& pp)
{
     pp.top = -1;
}
....
```

14.11 Moduli (III)

```
// ESEMPIO PILA
// MODULO CLIENT

// file  pilaMain.cpp

#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;

}
```


14.11 Moduli (IV)

Comandi per la compilazione ed il linking

FILE SINGOLO

Compilazione a riga di comando:

```
>> g++ -c main.cpp -o main.obj  // genera il file oggetto
                                // main.obj
```

Linking a riga di comando:

```
>> g++ main.obj   -o main.exe  // genera il file eseguibile
                               // main.exe
```

FILE MULTIPLI (programmazione a moduli)

Compilazione a riga di comando:

```
>> g++ -c main.cpp -o main.obj          // genera main.obj
>> g++ -c pila.cpp -o   pila.obj        // genera  pila.obj
```

Linking a riga di comando:

```
>> g++ main.obj  pila.obj  -o main.exe  // gen. main.exe
```

COMPILAZIONE E LINKING INSIEME

```
>> g++ main.cpp pila.cpp  -o main.exe
```

COMPILAZIONE E LINKING INSIEME SOTTO LINUX

```
$ g++ main.cpp pila.cpp  -o main
```

In quest'ultimo caso il comando per l'esecuzione è:

```
$ ./main
```

mentre sotto windows basta scrivere

```
>> main
```

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 <*cstring*>, e il loro utilizzo non richiede alcuna conoscenza sulla loro realizzazione.**

SECONDA PARTE

(le classi nel linguaggio C++)

I TIPI CLASSE

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);          //inizializzazione
    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)
```


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)
```

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)
```


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 visibilita'.

```
#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 << ')';}
```

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
                                // e restituiti da funzioni
    c3.scrivi(); cout << endl;          // (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 puo'
                                    // 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;}
```


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.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;
}
```

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)
```


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(3);  // ERRORE: non esiste complesso(int)
}
```

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;          // (1, -1)
    complesso c2;
    complesso c3(3.0);                  // 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
}
```

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 Progr.");
     /*...*/
}
```

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[]);
     ~stringa();                    // distruttore
// ...
};

// 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 Progr.");
      /*...*/
     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 Progr.");
     {
          stringa s("Reti Logiche");
      }
     delete ps;
     /*...*/
     return 0;
}
```

```
C Fondamenti di Progr.
C Reti Logiche
D Reti Logiche
D Fondamenti di Progr.
```


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);
     c1.scrivi(); cout << endl;          // <3.2, 4>

     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

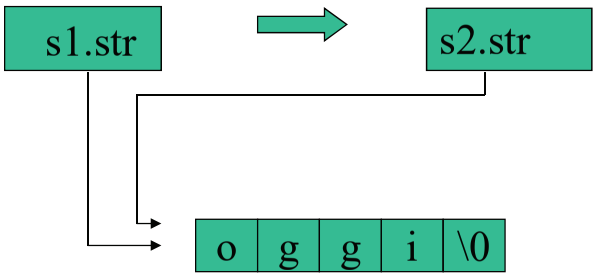
```
// file complesso.h
class complesso
{
     double re, im;
public:
     complesso(const complesso&);   // costruttore di copia
     /* ... */
};
// file complesso.cpp
/*….*/
complesso :: complesso(const complesso& c)
{       re = c.re; im = c.im;
        cout << "Costruttore di copia " << endl;
}
```

```
(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.

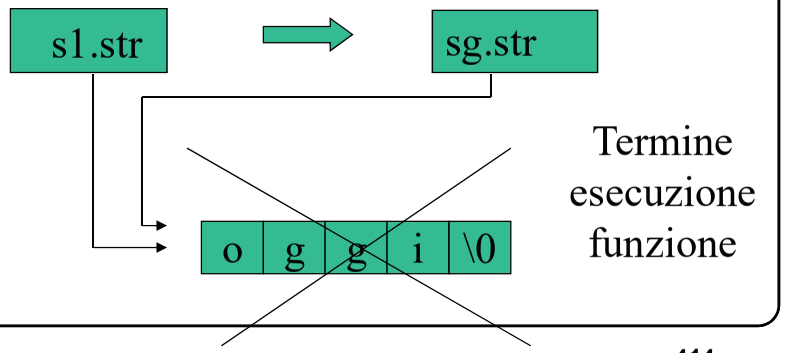
```
// file stringa.h
class stringa
{
      char* str;
public:
     stringa(const char s[]);
     ~stringa();                    // distruttore
// ...
};

// 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)

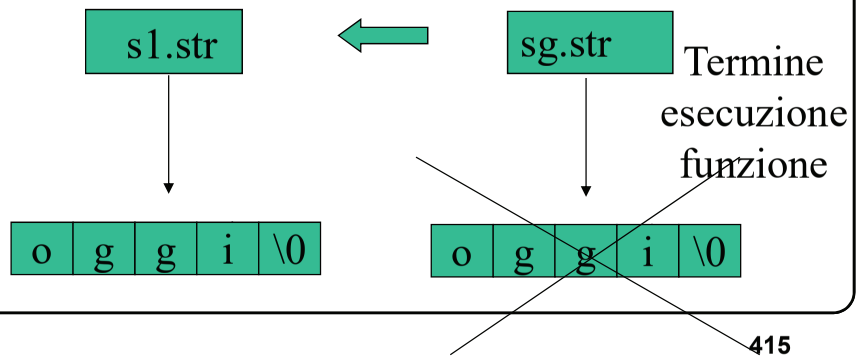
Consideriamo l'esempio seguente.

```
// 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 prefefinito.

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){
      ( sz <= 0 ) ? size = 10 : size = sz ;
      vett = new complesso[size]; // 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;
   }
}; // fine classe vettorecomplesso

int main(){
      vettoreComplesso v(5);
      cout<<"Modulo quadro di v: ";
      cout<<v.moduloQuadro()<<endl;
      return 0;
}
```


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;            // dichiarazione incompleta della classe utilizzata
class vettoreComplesso  // dichiarazione (completa) della classe utilizzatrice
{
   complesso *vett;       int size;
public:
   vettoreComplesso(int);
   double moduloQuadro();
};

class complesso{ // dichiarazione (completa) 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;
}
```

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 Θ è un operatore unario

1. Funzione membro *operatorΘ()*
2. Funzione globale *operatorΘ(x)*

Se Θ è un operatore binario

1. Funzione membro *operatorΘ(x)*
2. Funzione globale *operatorΘ(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;              // (6.4, 8)
      return 0;
}
```

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;          // (6.4, 8)
      return 0;
}
```


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;
}
```

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;          // (6.4, 8)
      c1++;
      c1.scrivi(); cout << endl;          // (4.2, 5)
      ++c2;
      c2.scrivi(); cout << endl;          // (4.2, 5)
      c1++++++;
      c1.scrivi(); cout << endl;          // (5.2, 6)
      ++++++c2;
      c2.scrivi(); cout << endl;          // (7.2, 8)

      return 0;
}
```


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;
}
```


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 prefefinito  con
 // argomento attuale 3. Somma tra numeri complessi
      c2 = 3.0 + c1;          // ERRORE

      return 0;
}
```

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;
}
```

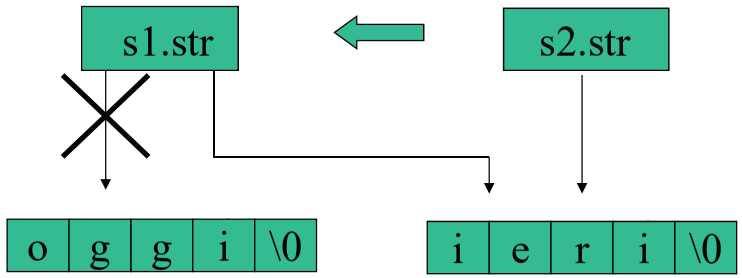

17.2 Simmetria tra gli operatori (III)

```
// 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;        // (7.2, 8)
      c2 = 3.0 + c1;
      c2.scrivi(); cout << endl;        // (6.2, 7)
      c2 = 4.0 + 3.0;                   // Costruttore prefefinito
      c2.scrivi(); cout << endl;        // (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[]);
      ~stringa();                    // distruttore
      stringa(const stringa &);      // costruttore di copia
// ...
};
// 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 gia' liberata non definito!!!!
```



17.3 Operatore di assegnamento (II)

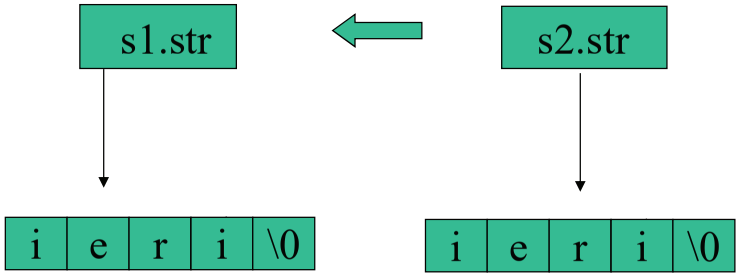
Operatore di assegnamento deve:

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[]);
     ~stringa();                        // distruttore
     stringa(const stringa &);  // costruttore di copia
     stringa& operator=(const stringa&); // oper. ass
// ...
};
// file stringa.cpp  NB: l'oggetto di sinistra (sx) è l'oggetto (*this)
stringa& stringa::operator=(const stringa& dx)
{   if (this != &dx)       // CONTROLLO ALIASING
    {
         delete[] str;
         str = new char[strlen(dx.str)+1];
         strcpy(str, dx.str);
    }
    return *this;
}
// NB: il test poteva anche essere scritto: if ( &(*this) != &dx ) ...
```

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& dx)
{   if (this != &dx)
    {
        if (strlen(str) != strlen(dx.str))
        {
            delete[] str;
            str = new char[strlen(dx.str)+1];
        }
        strcpy(str, dx.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"
class record                    // classe principale
{
    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"
class record                    // classe principale
{
    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)
```


18.3 Array di oggetti classe (II)

Inzializzazione 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.

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);
   static int conto;          //dichiarazione della var. 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
```


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
```

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
}
```


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;
}
```

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
```


18.5 Funzioni const (III)

Il meccanismo di overloading distingue due versioni di una funzione che differiscono solo per la proprietà di essere costanti

```
class complesso
{
 double re, im;
public:
 complesso(double r = 0, double i = 0):re(r),im(i){};
 double reale() const;
 double reale();
//…
};

// file complesso.cpp
double complesso:: reale() const
{cout << "[ chimata a complesso::reale()const ]" << endl;
return re;}

double complesso:: reale()
{cout << "[ chimata a complesso::reale() ]" << endl; return re;}

// file main.cpp
int main()
{   const complesso c1 (3.2, 4);
    complesso c2(7.8, 5);
    cout<< c1.reale() << endl;
    cout<< c2.reale() << endl;        //…      NOTARE L'USCITA
    return 0;
}
```

```
[ chimata a complesso::reale()const ]
3.2
[ chimata a complesso::reale() ]
7.8
```

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();                                          // (1)
 istream& get(char& c);                              // (2)
 istream& get(char* buf, int dim , char  delim = '\n');  // (3)
 istream& read(char* s, int n)                       // (4)
//…
};
```

L'oggetto cin e 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;

iomanip

setw(int)
numero minimo di caratteri usati per la stampa di alcune rappresentazioni (w sta per *width*)

setfill(char)
specifica quale carattere prependere 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
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 ogniqualvolta 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 booelani:

- 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
```


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);
```

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;
}
```


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)
```

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)

Definizione di simboli con associato un valore

```
#define KONST 42
int main()
{
    int x = KONST;          // come scrivere int x = 42;
   cout<<x<<endl;           //  stampa 42
}
```

NB: Non bisogna abusare di questa tecnica. In questo caso specifico, avrebbe avuto più senso utilizzare la seguente soluzione:

```
const int KONST = 42;

int main()
{
    int x = KONST;
   cout<<x<<endl;
}
```

in quanto in questo secondo caso KONST ha anche un tipo (tipo intero), e pertanto il compilatore può fare tutti i controlli sui tipi nelle espressioni in cui compare KONST.

Pertanto la define per la definizione di costanti va utilizzata con parsimonia e solo in presenza di ulteriori considerazioni che ne giustifichino l'utilizzo.

21 Preprocessore (III)

Macro: Simbolo che viene sostituito con la sequenza di elementi lessicali corrispondenti alla sua definizione

```
#define MAX(A,B) ((A)>(B) ? (A) : (B))
int main(){
   int y;
   y = 9 + MAX(2, 5);     // y = 9 + ( (2) > (5) ? (2) : (5) );
   cout<<y<<endl;         // stampa 14, come ci si aspetta
}
```

ATTENZIONE però alle parentesi!!!!
Infatti, la macro definita come segue, senza parentesi:

```
#define MAX(A,B) (A)>(B) ? (A) : (B)
int main(){
    int y;
    y = 9 + MAX(2, 5);     // y = 9 + (2) > (5) ? (2) : (5)
    cout<<y<<endl;         // y = 2, non 14!!!!
}
```

farebbe sì che y alla fine valga 2 invece che 14:

```
int main(){
    int y;
    y = 9 + (2) > (5) ? (2) : (5);

    // di conseguenza y alla fine vale 2 perchè l'operatore +
    // ha priorità maggiore dell'operatore ternario, che a sua
    // volta ha priorità minore dell'assegnamento:

    //  y = (9 + (2)) > (5) ? (2) : (5);
    //  y = ( 11 > 5 ? 2 : 5 );
    //  y = 2;
    cout<<y<<endl;         // stampa 2, non 14
}
```


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

#ifdef identifier	per	**#if defined identifier**
#ifndef identifier	per	**#if !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()
  #ifdef 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

---

Appendice A – Classe di mem. dei vettori

Caso 1: Vettore statico, avente lunghezza nota a TEMPO DI COMPILAZIONE.

```
int vett1[10];   // vett1 deve essere def. fuori dai blocchi
```

Caso 2: Vettore automatico, avente lunghezza nota a TEMPO DI COMPILAZIONE.

```
const int DIM = 10;
int main(){
    int vett2[D];   // vettore automatico (quello «classico»)
}
```

Caso 3: Vettore dinamico, avente lunghezza nota a TEMPO DI ESECUZIONE.

```
int main(){
    int lun;
    cin>>lun;
    int *vett3 = new int[lun];    // vettore dinamico vero e proprio
}
```

Caso 4: Vettore automatico, avente lunghezza nota a TEMPO DI ESECUZIONE.

```
int main(){
    int lun;
    cin>>lun;
    int vett4[lun];
}
```

Come potremmo chiamare vett4? Vettore dinamico? No! In quanto esso ha classe di memorizzazione automatica (ossia viene allocato sullo stack). Qualcuno chiama vett4 vettore «**semi-dinamico**», per distinguerlo sia da quello automatico classico, che da quello dinamico vero e proprio.

Appendice A – Classe di mem. dei vettori

NB: Dentro una classe posso definire solo vettori dinamici veri e propri, oppure vettori automatici PURCHE' AVENTI LUNGHEZZA NOTA A TEMPO DI COMPILAZIONE.

```
class Esempio1{
    int lun;
    int *vett;        // questo è consentito, purchè ovviamente
                      // il costruttore allochi memoria nello heap
public:
    ...
};


class Esempio2{
    int vett[10];        // questo è consentito
public:
    ...
};
```

Quello che non si può fare è usare, dentro una classe, un vettore semi-dinamico, ossia con lunghezza nota a tempo di esecuzione!

```
class Esempio3{
    int n;
    int vett[n];        // questo non è consentito
                        //  ed, infatti, non compila!
};
```

Appendice B – Priorità degli operatori (1/2)

Operatore (in grassetto)	Nome	Ass.
class-name :: member namespace-name :: member	risolutore di visibilità	s
:: member	risolutore globale di visibilità	d
object . member	selezione	s
pointer -> member	dereferenziazione e selezione	s
array [rvalue]	indicizzazione	s
function (actual-argument-list)	chiamata di funzione	s
lvalue ++	postincremento	d
lvalue --	postdecremento	d
static_cast type <rvalue>	conversione di tipo	s
const_cast type <rvalue>	conversione const	s
sizeof object / sizeof (type)	dimensione di oggetto o di tipo	d
++ lvalue	preincremento	d
-- lvalue	predecremento	d
~ rvalue	complemento bit a bit	d
! rvalue	negazione	d
- rvalue	meno unario	d
+ rvalue	più unario	d
& lvalue	indirizzo	d
* rvalue	dereferenziazione	d
new type	allocazione	d
delete pointer	deallocazione	d
delete[] pointer	deallocazione di array	d

Appendice B – Priorità degli operatori (2/2)

Operatore	Nome	Ass.
object .* pointer-to-member	selezione con punt. a membro	s
pointer ->* pointer-to-member	deref. e sel. con punt. a membro	s
rvalue * rvalue	moltiplicazione	s
rvalue / rvalue	quoziente	s
rvalue % rvalue	resto	s
rvalue + rvalue	somma	s
rvalue - rvalue	sottrazione	s
rvalue << rvalue	traslazione sinistra	s
rvalue >> rvalue	traslazione destra	s
rvalue < rvalue	minore	s
rvalue <= rvalue	minore o uguale	s
rvalue > rvalue	maggiore	s
rvalue >= rvalue	maggiore o uguale	s
rvalue == rvalue	uguale	s
rvalue != rvalue	diverso	s
rvalue & rvalue	AND bit a bit	s
rvalue ^ rvalue	OR esclusivo bit a bit	s
rvalue | rvalue	OR bit a bit	s
rvalue && rvalue	AND logico	s
rvalue || rvalue	OR logico	s
rvalue ? rvalue : rvalue	espressione condizionale	s
lvalue = rvalue	assegnamento	d
lvalue += rvalue	somma e assegnamento	d
lvalue -= rvalue	sottrazione e assegnamento	d
lvalue *= rvalue	moltiplicazione e assegnamento	d
lvalue /= rvalue	divisione e assegnamento	d
lvalue %= rvalue	resto e assegnamento	d
lvalue &= rvalue	AND bit a bit e assegnamento	d
lvalue |= rvalue	OR bit a bit e assegnamento	d
lvalue ^= rvalue	OR esclusivo bit a bit e assegnamento	d
lvalue <<= rvalue	traslazione a sinistra e assegnamento	d
lvalue >>= rvalue	traslazione a destra e assegnamento	d
espression , expression	virgola	s

(*fine delle slide*)