Programmazione (imperativa)

Corso di Laurea in Informatica

Roberto Cordone

DI - Università degli Studi di Milano

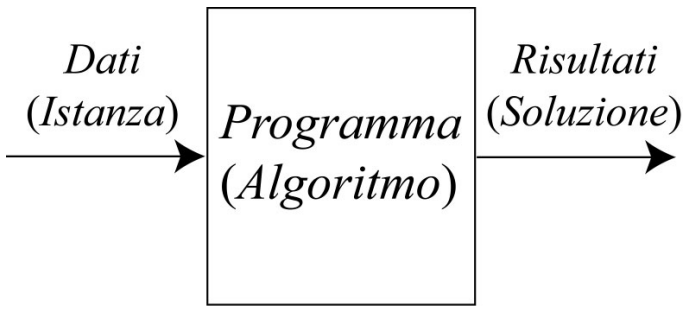
Lezioni:	Lunedì 12.00 - 13.00 e 14.00 - 16.00	Mercoledì 14.00 - 17.00
Laboratorio:	Giovedì 12.00 - 13.00 e 14.00 - 17.00	
Ricevimento:	su appuntamento	
Tel.:	02 503 16235	
E-mail:	roberto.cordone@unimi.it	
Web page:	http://homes.di.unimi.it/~cordone/courses/2015-prog/2015-prog.html	

Linguaggi, programmi, compilazione — Milano, A.A. 2015/16

Programmi e problemi

Un programma trasforma dati in risultati

Un algoritmo trasforma l'istanza di un problema nella sua soluzione



Poiché un algoritmo è una macchina, occorre

- codificare l'istanza perché l'algoritmo possa manipolarla
- codificare la soluzione perché l'algoritmo possa produrla

Codifica di istanza e soluzione

Istanza e soluzione sono insiemi di oggetti matematici
che modellano parti del mondo reale

Codificarle significa

1. sostituire gli oggetti matematici con simboli
   (numeri, lettere, parole chiave, glifi)
2. raccogliere i simboli in una semplice struttura monodimensionale
   (stringa)

Nel nostro caso istanza e soluzione saranno file di testo

Esempi di codifica

1. Crittografia con sistema algebrico su $\mathbb{Z}_{27}$ (matrice 1×1: $A = 7$)
   - Istanza (testo in chiaro): `ARCHIMEDE PITAGORICO`
   - Codifica dell'istanza (stringa di simboli):

1	18	3	8	9	13	5	4	5	0	16	9	20	1	7	15	18	9	3	15

   - Codifica della soluzione (stringa di simboli)

7	18	21	2	9	10	8	1	8	0	4	9	5	7	22	24	18	9	21	24

   - Soluzione (testo cifrato): `GRUBIJHAH DIEGVXRIUX`

Esempi di codifica

2. Correzione automatica di testi
   - Istanza (testo "scorretto"):

     `bisogna k fate qlc x' nn si kapisce`

   - Codifica dell'istanza (stringa di simboli):

bisogna	k	fate	qlc	x'	nn	si	kapisce

   - Codifica della soluzione (stringa di simboli)

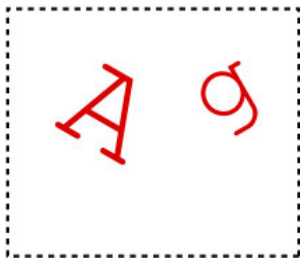
Bisogna	che	facciate	qualcosa	,	perché	non	si	capisce

   - Soluzione (testo corretto):

     `Bisogna che facciate qualcosa, perché non si capisce`

Esempi di codifica

3. Interpretazione di immagini
   - Istanza (immagine)



   - Codifica dell'istanza (formato bitmap):

```
1B0:  FF FE 0F FF FF FF FF FF FF C7 FC 00 00 00 F8 1F
1C0:  FF F8 0F FF FF FF FF FF FF F3 FC 00 00 00 F1 87
1D0:  FF E0 C7 FF FF FF FF FF FF F9 FC 00 00 00 FF C3
                    ...
3D0:  FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF FC
```

   - Codifica della soluzione (stringa di simboli)

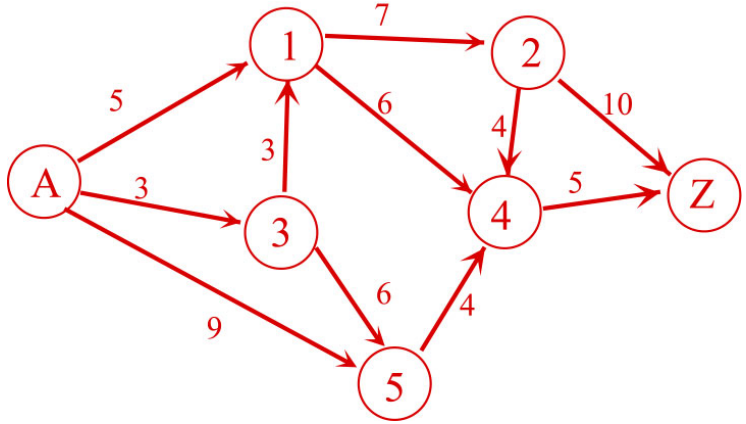
     `A g`

   - Soluzione (elenco degli oggetti riconosciuti)

     Una lettera "A" e una lettera "g"

Esempi di codifica

4. Navigazione su strada
   - Istanza (rete stradale, origine, destinazione, costi)



   - Codifica dell'istanza (grafo in formato lista archi)

A	Z	A	1	5	A	3	3	A	5	9	1	2	7	1	4	6	2	Z	10	2	4	4	3	1	3	3	5	6	4	Z	5

   - Codifica della soluzione (sequenza dei nodi visitati)

A	1	4	Z

   - Soluzione (percorso ottimo)

```
La prima a sinistra, poi la prima a destra, poi sempre dritto
```

Esempi di codifica

5. Pianificazione della produzione
   - Istanza (le (dis)equazioni che descrivono l'impianto e la funzione che lega produzione e profitto)

$$\max z = 250x_1 + 350x_2$$

$$\begin{aligned} 2x_1 + 3x_2 &\leq 1\,200 \\ x_1 &\leq 300 \\ x_2 &\leq 400 \\ x_1, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

0	-250	-350	0	0	0
1 200	2	3	1	0	0
300	1	0	0	1	0
400	0	1	0	0	1

   - Codifica dell'istanza

3	5	0	0	-250	-350	0	0	0	1 200	300	400	2	...

Esempi di codifica

5. Pianificazione della produzione
   - Codifica della soluzione

3	5	0	-145 000	0	0	350/3	50/3	0	300	1	0	...

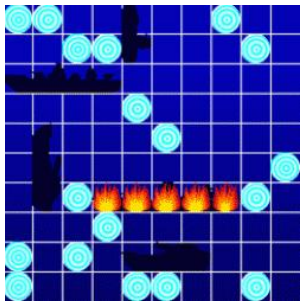
   - Soluzione: livelli di produzione ottimali

-145 000	0	0	350/3	50/3	0
300	1	0	0	1	0
200	0	0	-1/3	2/3	1
200	0	1	1/3	-2/3	0

$x_1^* = 300$ e $x_2^* = 200$ forniscono $z^* = 145\,000$

Esempi di codifica

6. Battaglia navale
   - Istanza: griglia, posizioni colpite, navi affondate, colpite e mancanti



   - Codifica dell'istanza

0	0	x	x	...	x	x	0	A	A	A	A	A	0	x	...	x	x	0	x

   - Codifica della soluzione

5	2

   - Soluzione: prossimo bersaglio

     $(E, 2)$

Codifica monodimensionale

Perché una codifica monodimensionale?

- L'uomo di solito usa codifiche bidimensionali (grafici)
- Una macchina potrebbe usare altre codifiche
- Ma per una macchina è la codifica più semplice

(In pratica: legge i dati da file e scrive i risultati su file...)

Codifica binaria, cioè stringhe composte di 0 e 1

- ogni simbolo dell'istanza va tradotto in una stringa binaria
- ogni sottostringa binaria della soluzione va tradotta in un simbolo

Linguaggio macchina

Ma come si realizza un programma?

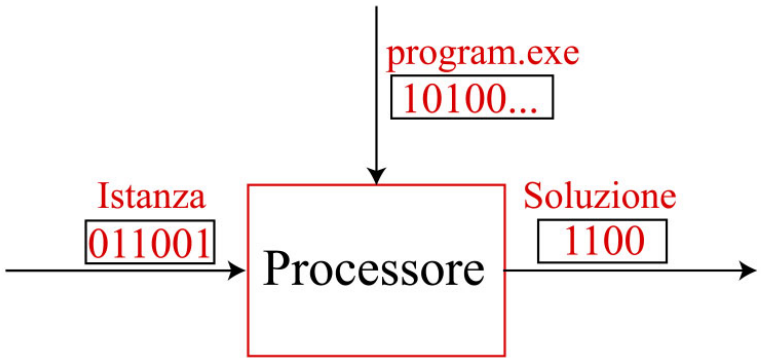
Come si costruisce una macchina che trasforma simboli?

I processori (vedi il corso di "Architetture e reti logiche")
trasformano stringhe binarie in stringhe binarie,
eseguendo istruzioni espresse come stringhe binarie

Linguaggio macchina è la codifica binaria delle istruzioni

- il processore usa direttamente il linguaggio macchina
- ogni processore ha il suo linguaggio specifico
- il linguaggio macchina è ostico per un essere umano

Processore


program.exe
10100...
Istanza
011001
Processore
Soluzione
1100

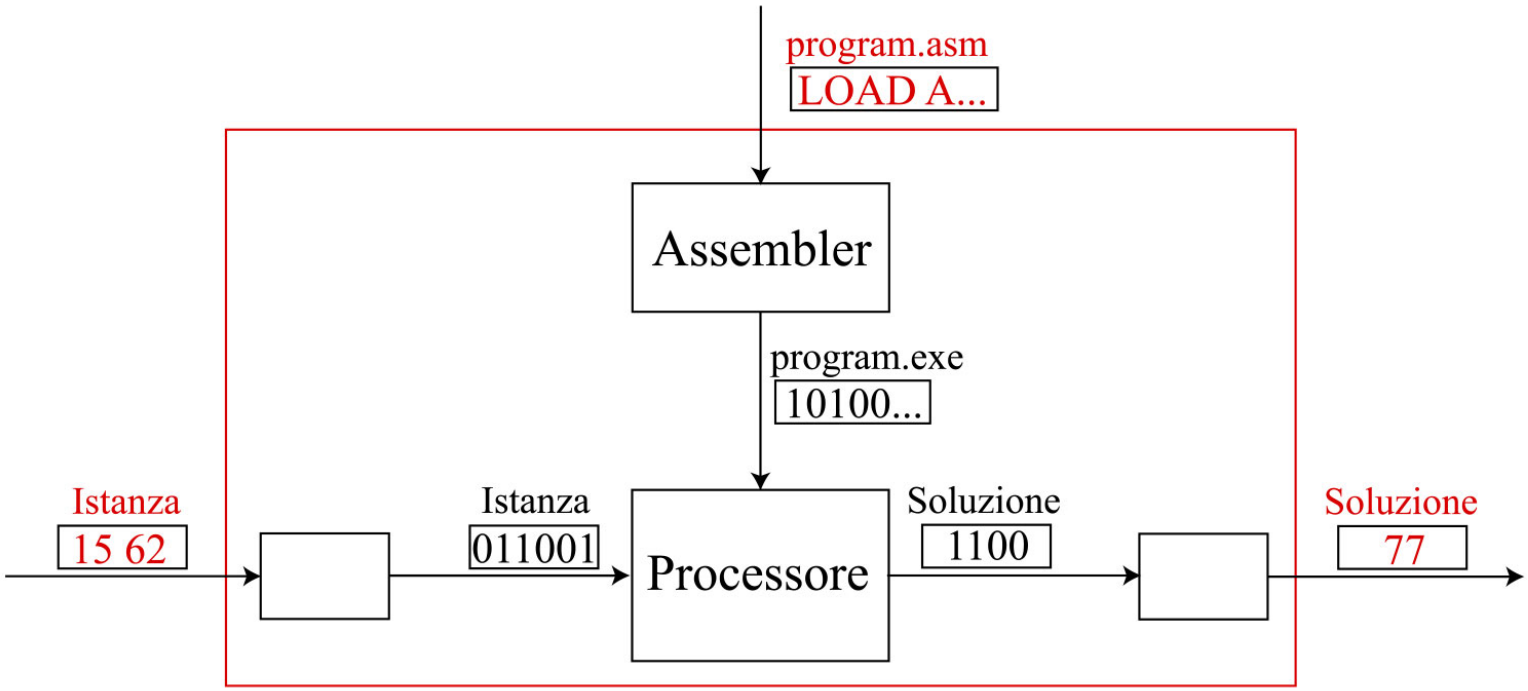
Linguaggio assembly

Linguaggio assembly: per ogni istruzione macchina elementare definisce un'istruzione simbolica corrispondente

1. si scrive un testo che descrive il programma (codice o listato del programma)
2. un programma (assembler) traduce il codice in linguaggio macchina

LOAD A	1010...00101
LOAD B	1010...01101
ADD	0011...00101
STORE	1001...10101

Assembler


program.asm
LOAD A...
Assembler
program.exe
10100...
Istanza
15 62
Istanza
011001
Processore
Soluzione
1100
Soluzione
77

Linguaggio assembly

Scrivendo in linguaggio assembly

- si indicano direttamente le istruzioni elementari
- ma non si lavora con stringhe binarie

Vantaggi:

- il linguaggio assembly è più leggibile per un essere umano
- si può usare un solo linguaggio assembly per diverse macchine purché le macchine abbiano le stesse istruzioni elementari (basta cambiare traduttore)

Linguaggio assembly

Svantaggi

- anche operazioni banali richiedono più istruzioni

Somma *a* e *b*	LOAD A LOAD B ADD STORE

- il programma è molto lungo
- il significato del programma non è evidente

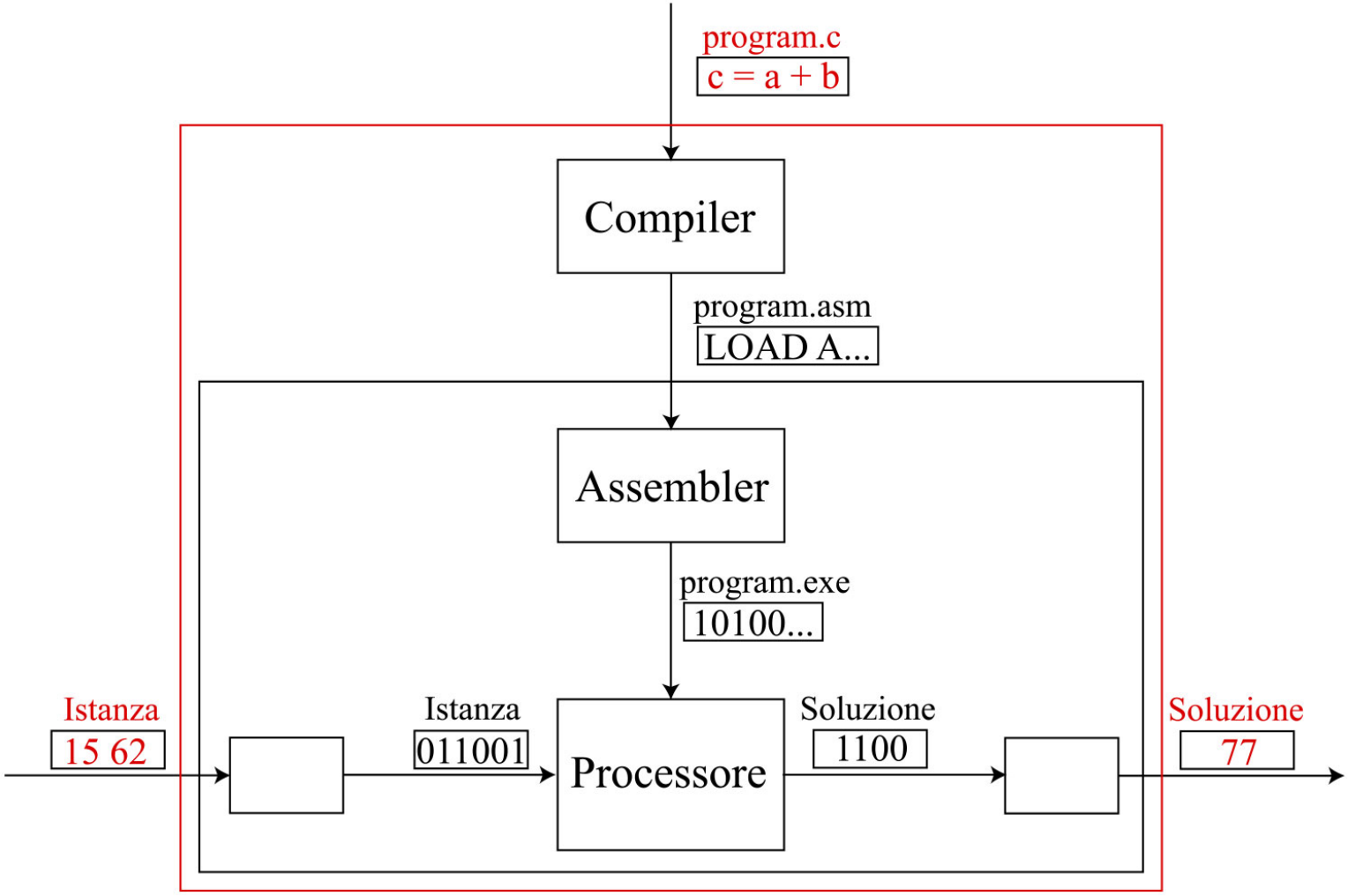
Linguaggio ad alto livello

Linguaggio ad alto livello: definisce una sola istruzione simbolica per ogni sequenza di istruzioni assembly con uno scopo comune

- si scrive un testo che descrive il programma (codice o listato del programma)
- un programma (compiler) traduce il codice in linguaggio macchina (di solito passando per l'assembly)

$c = a + b$	LOAD A LOAD B ADD STORE

Compilatore



Linguaggi ad alto livello

Ci sono migliaia di linguaggi ad alto livello

Tutti i linguaggi sono equivalenti: consentono di fare le stesse cose

Ogni linguaggio è più adatto per alcuni scopi e meno per altri, cioè consente di fare alcune cose più facilmente e altre meno

Imparare a programmare significa
imparare a usare TUTTI i linguaggi ad alto livello

Cominceremo con il C...

Il linguaggio C

- Fu inventato nel 1972 da Dennis Ritchie presso i laboratori della AT&T Bell
- Serviva a scrivere il codice del sistema operativo UNIX per un processore DEC PDP-11
- Presto si fecero traduttori da C a linguaggio macchina per poter usare il C su qualsiasi processore (portabilità)
- Nel 1990 l'American National Standards Institute (ANSI) ha approvato lo standard C89, noto anche come ANSI C

Nel seguito useremo sempre lo standard C89

Standard

Nonostante la definizione dello standard C89

- alcune caratteristiche sono ancora machine-dependent (rischio per la portabilità)
- ogni compilatore aggiunge estensioni del linguaggio che facilitano la stesura del codice, ma lo rendono non portabile
- standard successivi includono estensioni ulteriori, talvolta discutibili (per esempio, il C99)

Eviteremo accuratamente quasi tutte le estensioni

Vantaggi del C

- È molto espressivo
  - offre diverse strutture di controllo
  - l'utente può definire nuovi tipi di dato
  - l'utente può definire funzioni e procedure
- Offre un accesso diretto al basso livello: rappresentazione dei dati, operazioni sui bit, gestione della memoria
- Produce codice efficiente, compatto e rapido da compilare
- Ha poche parole chiave e una sintassi definita formalmente
- Favorisce lo sviluppo top-down (raffinamenti successivi)
- Ha molte librerie standard aggiuntive

Svantaggi del C

- Ha una sintassi non chiarissima, perché è sintetica e consente combinazioni complesse degli elementi di base
- Consente di scrivere codice criptico ("obfuscated") o con un significato ambiguo o diverso da quello apparente
- Alcuni operatori hanno regole di precedenza controintuitive

Lo usiamo perché è un ottimo compromesso fra

- la possibilità di definire istruzioni ad alto livello
- la possibilità di controllare meccanismi a basso livello

Per garantire chiarezza, portabilità e manutenibilità,
eviteremo accuratamente molte cose consentite

Struttura modulare

Il codice di un programma complesso viene distribuito in più file perché sarebbe troppo lungo, anche se scritto in linguaggio ad alto livello

- il singolo file è gestibile da un essere umano
- si possono assegnare brani di codice a gruppi indipendenti
- si possono riusare brani di codice in altri programmi senza copiarli (librerie)
- si possono tradurre librerie in linguaggio macchina
  - per evitare di tradurle ogni volta col resto del codice
  - per poterle vendere indipendentemente

Struttura modulare

I singoli brani

- non corrispondono a programmi funzionanti
- vanno ricollegati in un codice unico prima di eseguirli

La traduzione da linguaggio ad alto livello a linguaggio macchina richiede anche una fase di collegamento dei vari brani di codice

Occorre aggiungere ai file le indicazioni su come ricollegarli

Compilazione

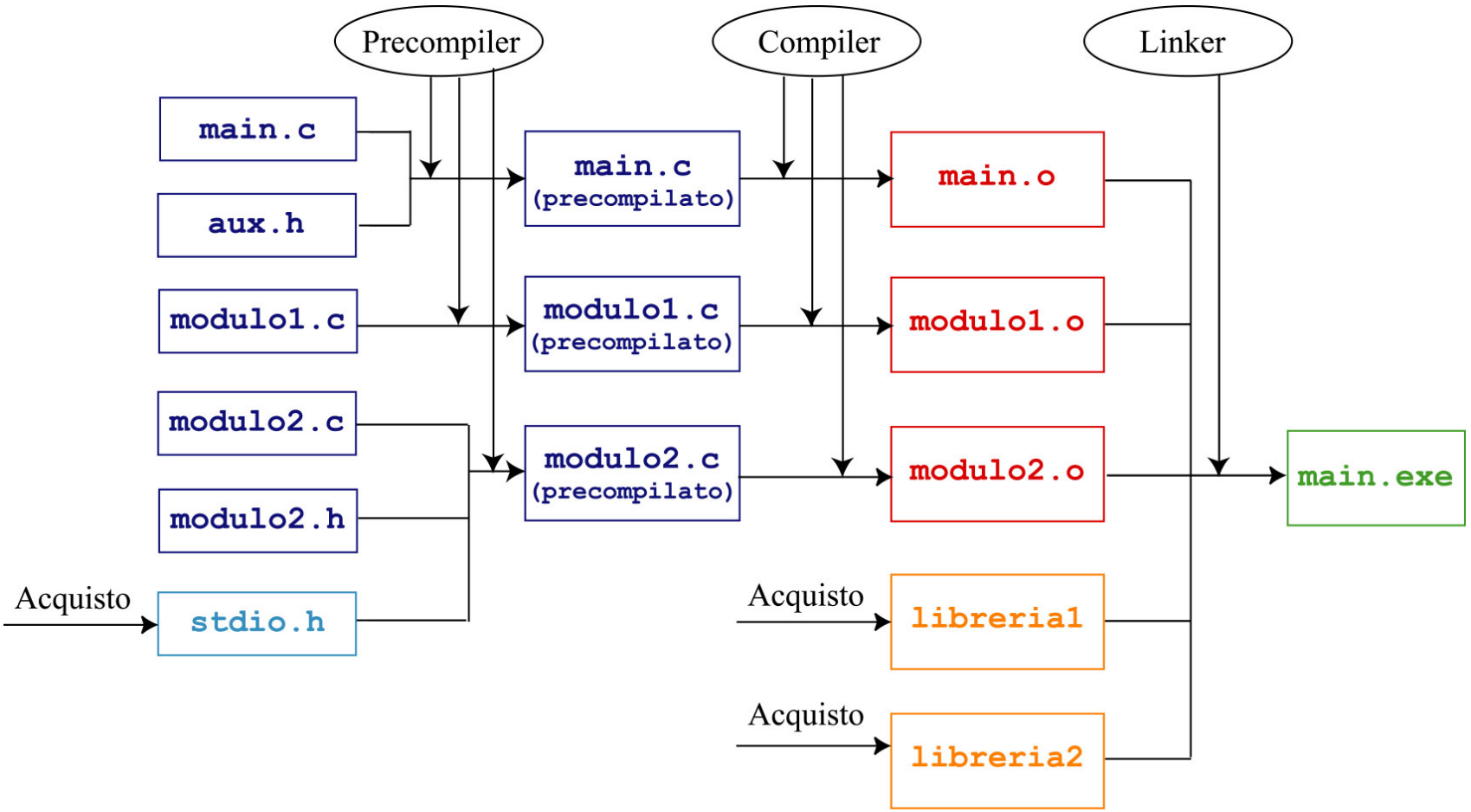
Compilazione è il processo di traduzione

- dal codice in linguaggio ad alto livello (uno o più file di testo)
- al programma in linguaggio macchina (un file eseguibile)

Attraversa tre fasi

1. precompilazione o preprocessing (da codici a codice): fonde codici, modifica o cancella brani di codice
2. compilazione (da codice a oggetto): traduce un file codice in un file oggetto, di solito passando per il codice assembly
3. collegamento o linking (da oggetti a eseguibile): lega file oggetto ed eventuali librerie esterne in un programma

Compilazione



Struttura dei listati C

Un listato C ha una struttura regolare

1. Direttive
2. Prototipi delle procedure secondarie
3. Funzione `main`, o programma principale
   1. parte dichiarativa
   2. parte esecutiva
4. Definizione delle procedure secondarie
   1. parte dichiarativa
   2. parte esecutiva

Tale struttura è strettamente legata al processo di compilazione

Commenti

I commenti sono spiegazioni del codice ad uso degli utenti racchiuse fra `/*` e `*/` (non si possono annidare!)

- sono eliminati dal precompilatore (la macchina non li usa)
- sono essenziali per lavorare in gruppo o a distanza di tempo
- esistono strumenti software che creano automaticamente il manuale del programma partendo dai commenti

Commento è anche il testo compreso fra `//` e la fine della riga secondo lo standard C99 (non C89!)

Struttura: direttive

```
/* hello1.c */


#include <stdio.h>

#define BORDO     '*'
#define SPAZIO    ' '
#define LARGHEZZA 17
#define SALUTO    "Hello, world!"



void StampaStringa (char *s);
void StampaCarattere (char c, int num);
void ACapo ();


int main (int argc, char *argv[])
{
  char b;
  int l;
```

Direttive

Cominciano con il carattere speciale #

Danno istruzioni al precompilatore

- inclusione di altri file (`#include` *nomefile*):
  si sostituisce la direttiva con l'intero contenuto del file (ricorsivamente)
- espansione di macro (`#define` *macro valore*):
  si sostituisce ogni occorrenza della macro col valore (ricorsivamente)
- compilazione condizionale (`#ifdef` *macro codice* `#endif`):
  se la macro è definita, il codice permane;
  altrimenti, il codice si cancella

Struttura: prototipi di funzione

```
/* hello1.c */

#include <stdio.h>

#define BORDO     '*'
#define SPAZIO    ' '
#define LARGHEZZA 17
#define SALUTO    "Hello, world!"


void StampaStringa (char *s);
void StampaCarattere (char c, int num);
void ACapo ();




int main (int argc, char *argv[])
{
  char b;
  int l;
```

Struttura: prototipi di funzione

Presentano le funzioni o procedure: brani di codice abbastanza importanti da avere un nome, dei dati e dei risultati, come i programmi

Il prototipo (dichiarazione) di una funzione ne specifica

1. il tipo del risultato (`void` se non c'è risultato)
2. il nome simbolico usato per chiamarla
3. il tipo e il nome dei dati (parametri di ingresso)

La definizione della funzione (il brano di codice) è in un'altra sezione

I file *header* inclusi dalla direttiva `#include` spesso contengono prototipi di funzioni definite in librerie esterne

Struttura: main

```
void ACapo ();


int main (int argc, char *argv[])
{
  char b;
  int l;


  /* Stampa il bordo superiore */
  StampaCarattere(BORDO,LARGHEZZA);
  ACapo();

  /* Stampa il bordo laterale sinistro */
  StampaCarattere(BORDO,1);
  StampaCarattere(SPAZIO,1);
  /* Stampa il saluto */
  StampaStringa(SALUTO);

  /* Stampa il bordo laterale destro */
  StampaCarattere(SPAZIO,1);
  StampaCarattere(BORDO,1);
  ACapo();

  /* Stampa il bordo inferiore */
  b = BORDO;
  l = LARGHEZZA;
  StampaCarattere(b,l);

  return 0;
}


/* Stampa la stringa di caratteri "s" */
void StampaStringa (char *s)
```

Struttura: main

L'intestazione presenta anche qui

1. tipo del risultato (sempre `int`)
2. nome del programma principale
   (sempre `main`, per distinguerlo dalle altre funzioni)
3. tipi e nomi dei dati (sempre `argc` e `argv`)

La definizione è racchiusa fra parentesi graffe ({})

1. parte dichiarativa: introduce le variabili, cioè gli oggetti manipolati dal programma
2. parte esecutiva: introduce le istruzioni, cioè le operazioni compiute dal programma

Struttura: parte dichiarativa

```
void ACapo ();


int main (int argc, char *argv[])
{
  char b;
  int l;

  /* Stampa il bordo superiore */
  StampaCarattere(BORDO,LARGHEZZA);
  ACapo();

  /* Stampa il bordo laterale sinistro */
  StampaCarattere(BORDO,1);
  StampaCarattere(SPAZIO,1);

  /* Stampa il saluto */
  StampaStringa(SALUTO);

  /* Stampa il bordo laterale destro */
  StampaCarattere(SPAZIO,1);
  StampaCarattere(BORDO,1);
  ACapo();

  /* Stampa il bordo inferiore */
  b = BORDO;
  l = LARGHEZZA;
  StampaCarattere(b,l);

  return 0;
}


/* Stampa la stringa di caratteri "s" */
void StampaStringa (char *s)
```

Struttura: parte dichiarativa

Le variabili sono risultati parziali; di ognuna si specifica

- il tipo, cioè l'insieme dei valori che può assumere e le operazioni che si possono compiere con essa
- il nome, cioè un identificatore simbolico usato per manipolarla

Ogni dichiarazione di variabile termina con `;`

Più variabili di tipo identico possono essere dichiarate insieme

```
int l1, l2;
```

equivale a

```
int l1;
int l2;
```

Struttura: parte esecutiva

```
void ACapo ();


int main (int argc, char *argv[])
{
  char b;
  int l;

  /* Stampa il bordo superiore */
  StampaCarattere(BORDO,LARGHEZZA);
  ACapo();

  /* Stampa il bordo laterale sinistro */
  StampaCarattere(BORDO,1);
  StampaCarattere(SPAZIO,1);

  /* Stampa il saluto */
  StampaStringa(SALUTO);

  /* Stampa il bordo laterale destro */
  StampaCarattere(SPAZIO,1);
  StampaCarattere(BORDO,1);
  ACapo();

  /* Stampa il bordo inferiore */
  b = BORDO;
  l = LARGHEZZA;
  StampaCarattere(b,l);

  return 0;
}


/* Stampa la stringa di caratteri "s" */
void StampaStringa (char *s)
```

Struttura: parte esecutiva

Le istruzioni possono essere

- operazioni definite nel linguaggio (per es., =)
- funzioni tratte da librerie standard (per es., `printf`)
- funzioni definite dall'utente (per es., `StampaStringa`)

Ogni istruzione termina con un punto e virgola (;)

Struttura: procedure

```
  /* Stampa il bordo inferiore */
  StampaCarattere(BORDO,LARGHEZZA);

  return 0;
}
```

```
/* Stampa la stringa di caratteri "s" */
void StampaStringa (char *s)
{
  printf("%s",s);
}
```

```
/* Stampa il carattere "c"
   ripetuto "num" volte */
void StampaCarattere (char c, int num)
{
  int i;

  for (i = 1; i <= num; i++)
    printf("%c",c);
}

/* Va a capo */
void ACapo ()
{
  printf("\n");
}
```

Struttura: procedure

La definizione è il brano di codice preannunciato dal prototipo

Ha la stessa struttura del main

- intestazione: copia del prototipo (senza ;)
- parte dichiarativa: tipo e nome delle variabili
- parte esecutiva: istruzioni