Corso di Architettura degli Elaboratori e Laboratorio (M-Z)

Livello software

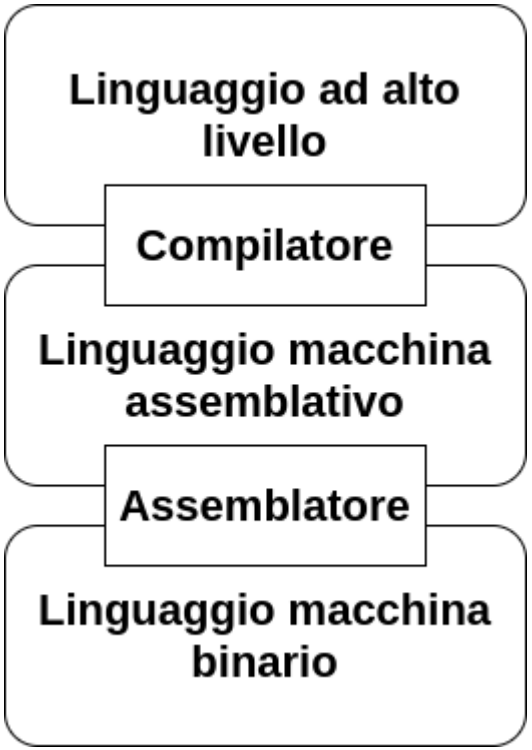
Nino Cauli

UNIVERSITÀ
degli STUDI
di CATANIA

Dipartimento di Matematica e Informatica

Come si programma?

- Il programmatore scrive i programmi in **LINGUAGGIO ASSEMBLATIVO** (**ASSEMBLY**)
- Il programma assemblativo viene tradotto in sequenze binarie dall'**ASSEMBLATORE**
- Linguaggi ad alto livello (C, C++, etc.) ancora più espressivi
- Il **COMPILATORE** traduce il codice ad alto livello in codice assemblativo

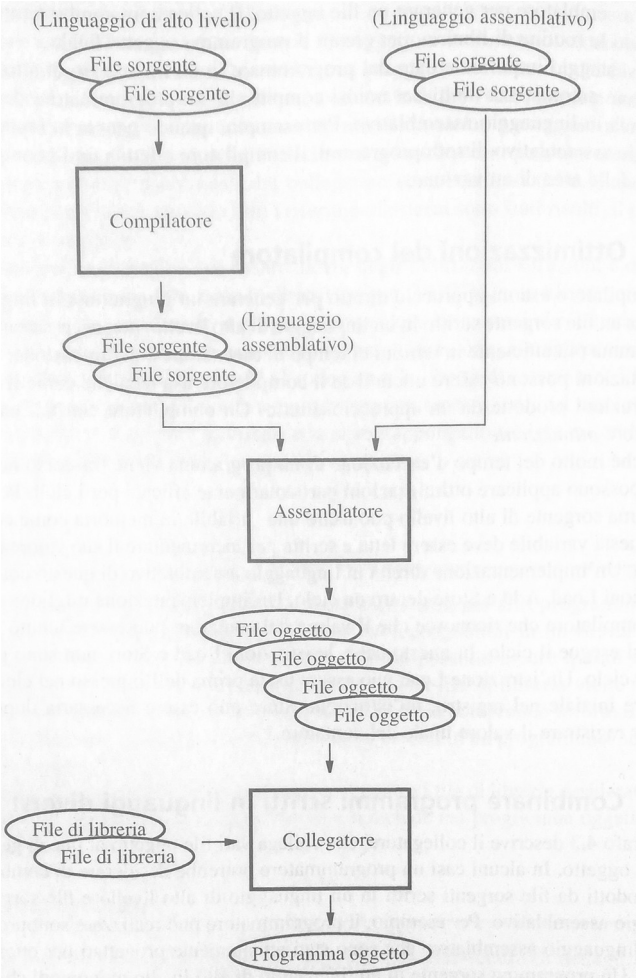


Generazione programma oggetto

- Il **COMPILATORE** trasforma una serie di file sorgenti di linguaggio ad alto livello in file sorgenti assembly

- L'**ASSEMBLATORE** trasforma una serie di file sorgenti assembly (generati dal compilatore o scritti direttamente da un programmatore) in file oggetto

- Il **LINKER** collega assieme vari file oggetto e file di libreria in un unico programma oggetto (un file oggetto potrebbe usare dei sottoprogrammi definiti in altri file oggetto o di libreria)



Processo assemblativo

- L’assemblatore traduce un file sorgente, scritto in assembly, in un file oggetto, scritto in codice macchina binario

- Per generare il file oggetto l’assemblatore deve eseguire i seguenti passi:
  - Generare la codifica binaria delle istruzioni espresse in assembly (codice operativo e operandi)
  - Riconosce le direttive di assemblatore per l’allocazione di memoria mettendo queste informazioni nell’header del file oggetto
  - Riconosce le direttive che assegnano nomi a costanti (i.e. EQU) e sostituisce il valore binario ad ogni occorrenza dei nomi nel codice
  - Sostituisce il valore binario ad ogni occorrenza di etichette di indirizzi relativi nel codice

Assemblatore a due passi

- Man mano che incontra etichette e dichiarazioni di costanti, l'assemblatore tiene traccia dei nomi e dei valori corrispondenti nella **tabella dei simboli**

- L'assemblatore sostituisce ogni occorrenza di un nome con il valore indicato nella **tabella dei simboli**

Ma cosa accade se il simbolo viene dichiarato dopo essere usato?
(etichette dei salti in avanti per esempio)

- Si usa un metodo di assemblaggio a 2 passate:
  - Passo 1: si scorre il codice sorgente raccogliendo in tabella tutti i simboli e i rispettivi valori numerici
  - Passo 2: si scorre nuovamente il codice sorgente sostituendo i simboli con i valori in tabella e generando il codice oggetto finale

Loader

- File sorgente, file oggetto e dati sono inizialmente memorizzati nella memoria secondaria (su disco)
- Per essere eseguito dal processore, un programma oggetto e i suoi dati devono essere trasferiti in memoria centrale
- Il **LOADER** è il programma dedito a caricare il programma oggetto in memoria, attivato da una richiesta di esecuzione del programma oggetto da parte dell'utente
- Il **Loader** deve eseguire le seguenti operazioni:
  - Leggere informazioni quali lunghezza del programma e locazione di caricamento dall'header del file oggetto
  - Caricare il programma in memoria sulla base di tali informazioni
  - Saltare alla prima istruzione del programma da eseguire

Linker

- Nella maggior parte dei casi un programma è distribuito in più file sorgente
- In un file sorgente si possono avere chiamate a sottoprogrammi dichiarati in altri file sorgente
- In questi casi l'assemblatore genera un file oggetto incompleto (con riferimenti a **nomi esterni**) per ogni file sorgente
- Il **LINKER** genera un file oggetto completo combinando più file oggetto separati e risolvendo i riferimenti a nomi esterni
- Ogni file oggetto deve contenere una **lista di nomi esterni usati** e una **lista delle etichette da esportare**

Librerie

- Le **Librerie** sono file che raggruppano file oggetto con sottoprogrammi utilizzabili da altri programmi
- I file di libreria sono creati dal programma di utilità chiamato **ARCHIVER**
- Nel file di libreria sono inserite le informazioni per permettere al Linker di risolvere i riferimenti a nomi esterni in altri programmi
- I file di libreria usati devono essere specificati all'invocazione del Linker
- I file oggetto rilevanti della libreria saranno inclusi nel programma oggetto finale da parte del Linker

Compilatore

- Normalmente i programmi vengono scritti in linguaggi ad alto livello molto espressivi
- Il **COMPILATORE** trasforma un file sorgente scritto in linguaggio ad alto livello in un file scritto in assembly
- Il compilatore automatizza molti compiti del programmatore assembly (gestione delle aree di attivazione per esempio)
- Un compilatore che riorganizza le istruzioni per ottimizzare il codice viene detto **OTTIMIZZANTE**
- Un programma ad alto livello può chiamare sottoprogrammi presenti in altri file assembly o scritti in altri linguaggi (il linker gestirà i collegamenti)

Esempio di I/O in codice C

- Prendiamo come esempio un programma che legge caratteri da tastiera e li visualizza a video tramite scansione

- In questo programma si accede solo a registri di I/O (stesso spazio di indirizzamento delle locazioni di memoria)

- Si può scrivere tale programma interamente in linguaggio C (bisogna conoscere gli indirizzi dei registri di I/O)

- Il programma C è notevolmente più corto dell'equivalente in assembly (la gestione dei registri del processore è automatizzata)

Esempio di I/O in codice C

UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

Assembly - I/O tramite scansione

```
KBD_DATA    EQU     0x4000      Registro dati della tastiera (8 bit)
KBD_STATUS  EQU     0x4004      Registro di stato della tastiera (il bit 1 è
                                la condizione di stato KIN)
DISP_DATA   EQU     0x4010      Registro dati dello schermo (8 bit).
DISP_STATUS EQU     0x4014      Registro di stato dello schermo (il bit 2
                                è la condizione di stato DOUT)
            Move    R2, #KBD_DATA   Puntatore all'interfaccia del dispositivo
                                    tastiera
            Move    R3, #DISP_DATA  Puntatore all'interfaccia del dispositivo
                                    schermo
CICLO_KBD : LoadByte R4, 4(R2)      Controlla se c'è in ingresso un carattere
                                    dalla tastiera
            And     R4, R4, #2
            Branch_if_[R4]=0 CICLO_KBD
            LoadByte R5, (R2)       Leggi il carattere ricevuto
CICLO_DISP : LoadByte R4, 4(R3)     Controlla se lo schermo è pronto
                                    per un nuovo carattere
            And     R4, R4, #4
            Branch_if_[R4]=0 CICLO_DISP
            StoreByte R5, (R3)      Scrivi il carattere ricevuto sullo schermo
            Branch  CICLO_KBD
```

C - I/O tramite scansione

```
/* Definizione di indirizzi di registri */
#define KBD_DATA        (volatile char *) 0x4000
#define KBD_STATUS      (volatile char *) 0x4004
#define DISP_DATA       (volatile char *) 0x4010
#define DISP_STATUS     (volatile char *) 0x4014

void main()
{
    char ch;

    /* Trasferisci i caratteri */
    while (1) {                                 /* Ciclo senza fine */
    while ((*KBD_STATUS & 0x2) == 0);           /* Attendi un nuovo carattere */
    ch = *KBD_DATA;                             /* Leggi il carattere dalla tastiera */
    while ((*DISP_STATUS & 0x4) == 0);          /* Attendi che lo schermo sia pronto */
    *DISP_DATA = ch;                            /* Trasferisci il carattere allo schermo */
```

Esempio di I/O con interruzioni in codice C

- In alcuni casi è necessario inserire delle istruzioni assembly all'interno del codice C (per esempio per l'accesso a registri di controllo del processore)

- Alcuni compilatori C permettono di inserire funzioni assembly nel codice attraverso delle direttive al compilatore: **asm("codice-assembly")**

- È spesso possibile definire le routine di servizio di interruzione in C usando la parola chiave interrupt all'inizio di una definizione di funzione: **interrupt void intserv() {…}**

Vediamo ora come esempio un programma che riceve dei caratteri da tastiera tramite interruzione e li stampa su schermo

Esempio di I/O con interruzioni in codice C

UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA

Assembly - I/O tramite interruzione

```
IVETT       EQU     0x20        Vettore per routine di servizio d'interruzione
KBD_DATA    EQU     0x4000      Registro dati della tastiera (8 bit)
KBD_STATUS  EQU     0x4004      Registro di stato della tastiera (il bit 1 è
                                la condizione di stato KIN)
KBD_CONT    EQU     0x4008      Registro di controllo della tastiera il (bit 1 è
                                la condizione di stato KIE)
DISP_DATA   EQU     0x4010      Registro dati dello schermo (8 bit)
DISP_STATUS EQU     0x4014      Registro di stato dello schermo (il bit 2 è
                                la condizione di stato DOUT)

Programma principale
MAIN:       Move        R2, #KBD_DATA   Puntatore all'interfaccia della tastiera
            Move        R3, #0x2
            StoreByte   R3, 8(R2)       Configura la tastiera per segnalare
                                        interruzioni
            Move        R2, #IVETT      Puntatore al vettore delle interruzioni
            Move        R3, #INTSERV    Inizio della routine di servizio d'interruzione
            Store       R3, (R2)        Inizializza il vettore delle interruzioni
            Move        R2, #0x2        Abilita il processore a ricevere interruzioni
            MoveControl IENABLE, R2     da tastiera
            Move        R2, #0x1        Poni a 1 il bit che abilita le interruzioni
                                        per il processore
            MoveControl PS, R2
CICLO :     Branch      CICLO           Ciclo di attesa continua
Routine di servizio d'interruzione
INTSERV:    Subtract    SP, SP, #8      Salva i registri
            Store       R2, 4(SP)
            Store       R3, (SP)
            Move        R2, #KBD_DATA   Puntatore all'interfaccia della tastiera
            LoadByte    R3, (R2)        Leggi il prossimo carattere
            Move        R2, #DISP_DATA  Puntatore all'interfaccia dello schermo
            StoreByte   R3, (R2)        Scrivi il carattere ricevuto sullo schermo
            Load        R2, 4(SP)       Ripristina i registri
            Load        R3, (SP)
            Add         SP, SP, #8
            Return-from-interrupt
```

C - I/O tramite interruzione

```
#define   IVECT       (volatile unsigned int *) 0x20
#define   KBD_DATA    (volatile char *) 0x4000
#define   KBD_CONT    (volatile char *) 0x4008
#define   DISP_DATA   (volatile char *) 0x4010
#define   DISP_STATUS (volatile char *) 0x4014

interrupt void intserv();     /* Dichiarazione anticipata di funzione */

void main()
{
  /* Inizializzazioni per trasferimenti di caratteri tramite interruzioni */
  *KBD_CONT = 0x2;                  /* Abilita le interruzioni da tastiera */
  *IVETT = (unsigned int) &intserv; /* Inizializza il vettore delle interruzioni */
  asm ("Subtract SP, SP, #4");      /* Salva il registro R2 */
  asm ("Store R2, (SP)");
  asm ("Move R2, #0x2");            /* Abilita il processore a ricevere interruzioni da tastiera */
  asm ("MoveControl IENABLE, R2");
  asm ("Move R2, #0x1");            /* Abilita le interruzioni per il processore */
  asm ("MoveControl PS, R2");
  asm ("Load R2, (SP)");            /* Ripristina il registro R2 */
  asm ("Add SP, SP, #4");

  while (1)                         /* Ciclo continuo */
  {
                                    /* Trasferisci i caratteri usando la routine di servizio
                                       d'interruzione */
  }
}

interrupt void intserv()  /* La parola chiave indica al compilatore di trattare la funzione come
                             routine di servizio d'interruzione */
{
  *DISP_DATA = *KBD_DATA;     /* Trasferisci un carattere */
  /* Il compilatore inserirà l'istruzione di rientro da interruzione alla fine della funzione */
}
```

Debugger

- Il compilatore è in grado di rilevare errori sintattici e nomi sconosciuti nel codice sorgente, ma non errori di programmazione (**bug**)

- Il **DEBUGGER** è un programma che ci permette di eseguire il programma oggetto ed interrompere la sua esecuzione in qualsiasi istante per valutarne il corretto funzionamento, controllando lo stato della memoria e dei registri

- Il Debugger può essere eseguito in due diverse modalità:
  - **trace mode:** il programma viene eseguito passo-passo, interrompendosi dopo ogni istruzione
  - **breakpoint:** l'esecuzione del programma si interrompe in punti di osservazione specifici definiti dal programmatore

Trace mode

Passi di esecuzione in Trace mode:

- Si genera un’eccezione al termine dell’esecuzione di ogni istruzione del programma
- Il Debugger viene lanciato come routine di servizio dell’istruzione
- Il programmatore controlla lo stato del programma
- Una volta che il programmatore seleziona il comando per continuare l’esecuzione viene effettuato un rientro dall’interruzione e viene eseguita l’istruzione successiva

Breakpoint

Passi di esecuzione in usando i breakpoint:

- Quando il Debugger è in esecuzione, il programmatore può scegliere dei punti di osservazione (**breakpoint**) dove interrompere il porgramma
- Il Debugger sostituisce e mette da parte le istruzioni in corrispondenza dei breakpoint con speciali interruzioni software (**Trap**)
- Il programma viene eseguito normalmente fino ad arrivare alla prima Trap, dove l'esecuzione passa al Debugger
- Una volta che il programmatore seleziona il comando per continuare l'esecuzione il Debugger riprende l'esecuzione del programma e reinserisce la trap

Sistema operativo

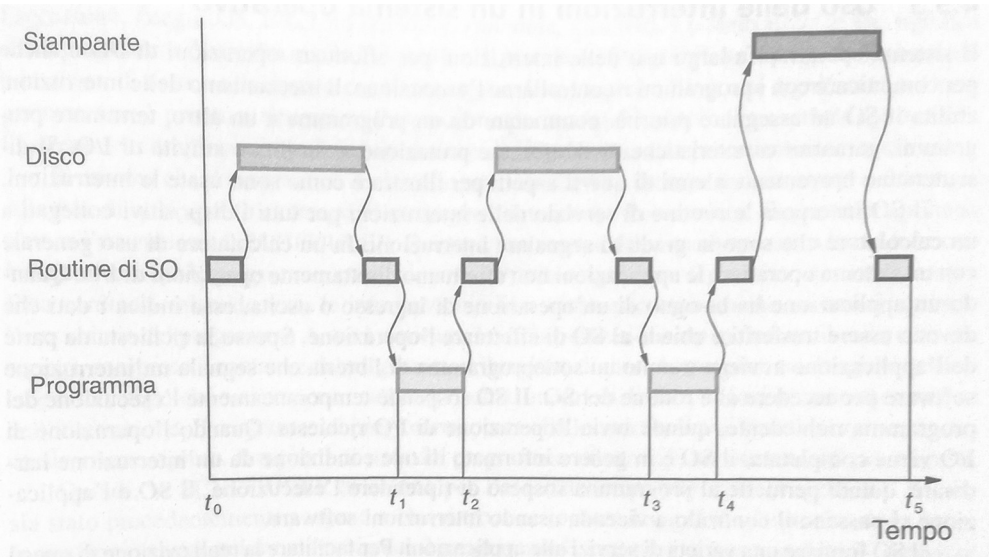
- Il **Sistema Operativo (SO)** gestisce il coordinamento generale di tutte le attività del calcolatore (esecuzione concorrente di programmi, gestione degli I/O, gestione dell'accesso alla memoria, gestione dell'interfaccia utente, etc.)

- Il **SO** è formato da un insieme di routine essenziali che risiedono nella memoria centrale e un insieme di programmi di utilità che risiedono su disco e vengono caricati in memoria centrale per essere eseguiti

- Durante l'inizializzazione del sistema, un processo di avvio (**boot-strapping**) viene usato per caricare in memoria una porzione iniziale del SO

Esempio di gestione programmi

- Caso semplice in cui ci sia un solo programma in esecuzione che richiede la lettura di dati dal disco e la stampa degli stessi
- Il processore salterà ripetutamente dall'esecuzione di routine del sistema operativo, di routine di I/O e del programma
- Nel caso di più programmi da eseguire contemporaneamente è possibile parallelizzare (virtualmente) il processo
- Sistemi operativi capaci di eseguire più programmi contemporaneamente sono chiamati **concorrenti** o **multitasking**



Multitasking

- Per comunicare con programmi, memoria e periferiche di I/O, il SO fa uso di un sistema di interruzioni
- Il SO fornisce una serie di routine di servizio di interruzioni software per svariati compiti, ognuna con il proprio vettore di interruzione
- Per gestire programmi concorrenti il SO ne divide l'esecuzione in quanti di tempo (**time slicing**)
- Un contatore lancia un interruzione ogni quanto di tempo τ, e lancia la routine **SCHEDULER** per scegliere il prossimo programma da eseguire
- I programmi possono trovarsi in 3 stati: **RUNNING**, **RUNNABLE** e **BLOCKED**