Modulo 3
Programmi eseguibili

Laboratorio di Sistemi Operativi I
Anno Accademico 2008-2009

Sommario

- Ciclo di vita di un programma: dall'editing all'esecuzione
- File eseguibili, file oggetto e librerie
- Mappa di memoria del processo
- Il formato ELF e **`binutils`**
- Il compilatore GNU C: **`gcc`**
- Il debugger: **`gdb`**
- Ausilio alla compilazione: **`make`**

Assemblatori, compilatori, interpreti - I

- Il processore è in grado di eseguire soltanto istruzioni codificate in linguaggio macchina binario, che dipende dal processore (o dalla famiglia di processori)
- Per agevolare la codifica di programmi, sono state realizzate varie tipologie di traduttori da linguaggi ad alto livello (*codice sorgente*) al linguaggio macchina:
  - **Assemblatori** (Intel x86, IBM PowerPC)
  - **Compilatori** (C, FORTRAN, Pascal, C++)
  - **Interpreti** (Basic, Lisp, APL, PHP)
- Recentecemente sono stati introdotti linguaggi che ricadono in una categoria intermedia tra quelli compilati e interpretati, in quanto il compilatore genera un bytecode che viene poi intepretato, come per Java, Perl, Python

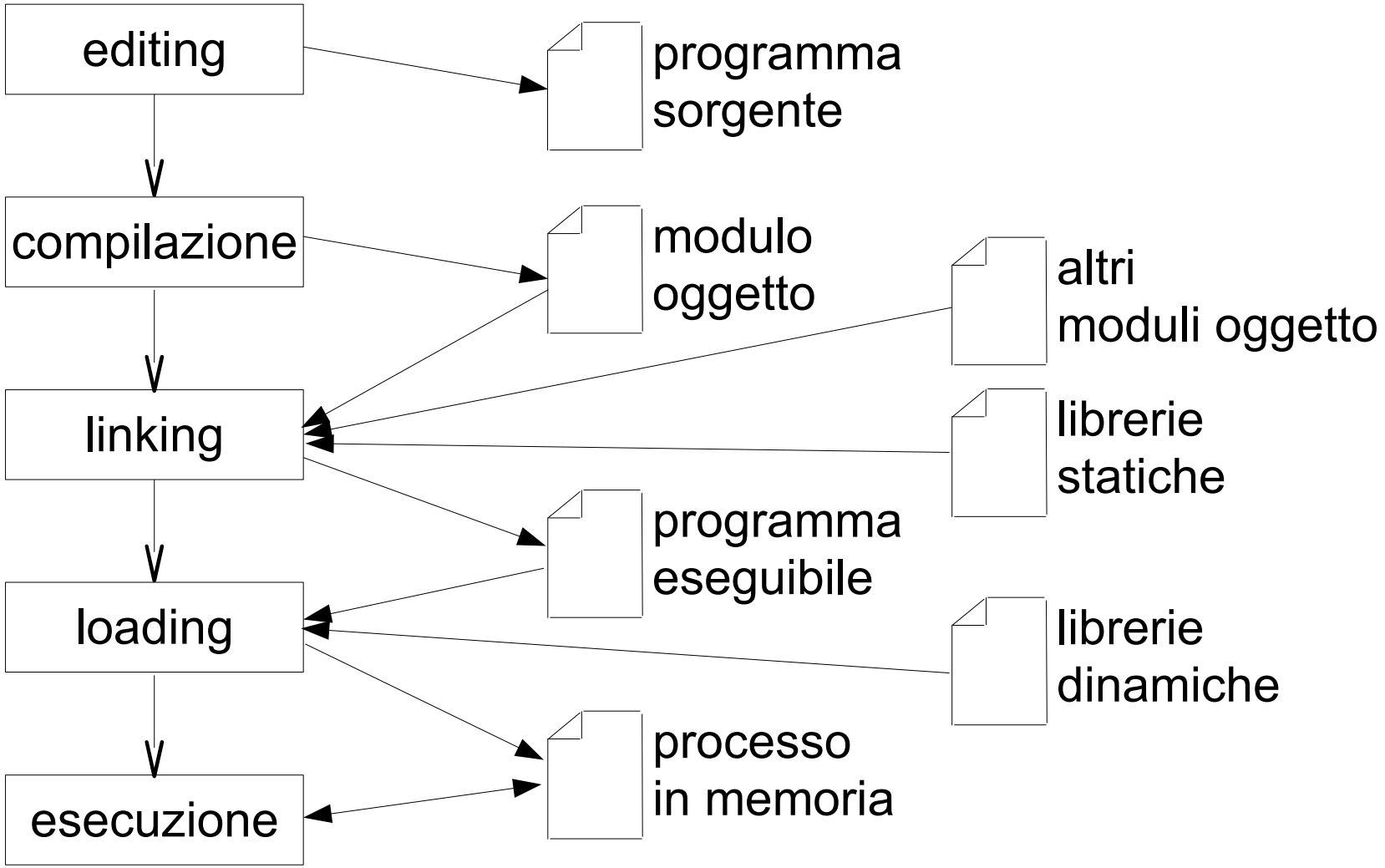
Assemblatori, compilatori, interpreti - II

- Il funzionamento interno dei tre sistemi di traduzione è molto diverso:
  - **Assemblatore**: traduce le istruzioni da un formato testuale simbolico (assembler) nelle corrispondenti in linguaggio macchina (la corrispondenza tra le istruzioni è uno-a-uno) – il programmatore vede l'architettura interna del sistema
  - **Compilatore**: espande singole istruzioni dal liguaggio sorgente in una o più istruzioni in linguaggio macchina – il programmatore non vede l'architettura interna del sistema
  - **Interprete**: traduce passo per passo ogni istruzione dal linguaggio sorgente nelle corrispondenti istruzioni in linguaggio macchina per cui la correttezza sintattica viene verificata durante l'esecuzione – il programmatore non vede l'architettura interna del sistema

Assemblatori, compilatori, interpreti - III

- L'operazione di compilazione dal sorgente al binario può avvenire in uno o più passi (2 o 3)
- I programmi interpretati hanno tempi di esecuzione molto maggiori di quelli compilati
- Per accelerare l'esecuzione dei programmi interpretati sono state introdotte tecniche di caching della traduzione e di compilazione *just-in-time*
- Tipicamente, lo sviluppo di un programma utilizzando un linguaggio interpretato è più semplice e rapido

Dal programma sorgente al programma in esecuzione



File eseguibile

- Un *file eseguibile* (o semplicemente *eseguibile*) è un file in un formato binario che il computer può direttamente eseguire.
- A differenza dei *file sorgente*, non è leggibile da un operatore umano.
- Per trasformare un file sorgente in un eseguibile, si fa ricorso a un compilatore o un assemblatore.
- Un eseguibile può contenere ulteriori informazioni oltre al codice del programma da eseguire, come ad esempio informazioni per il *debugging* e il *profiling*.
- Il codice all'interno di un eseguibile può contenere, oltre a istruzioni macchina, anche chiamate a servizi del sistema operativo (*system calls*): quindi un eseguibile è in genere dipendente sia dal processore che dal sistema operativo.

File oggetto

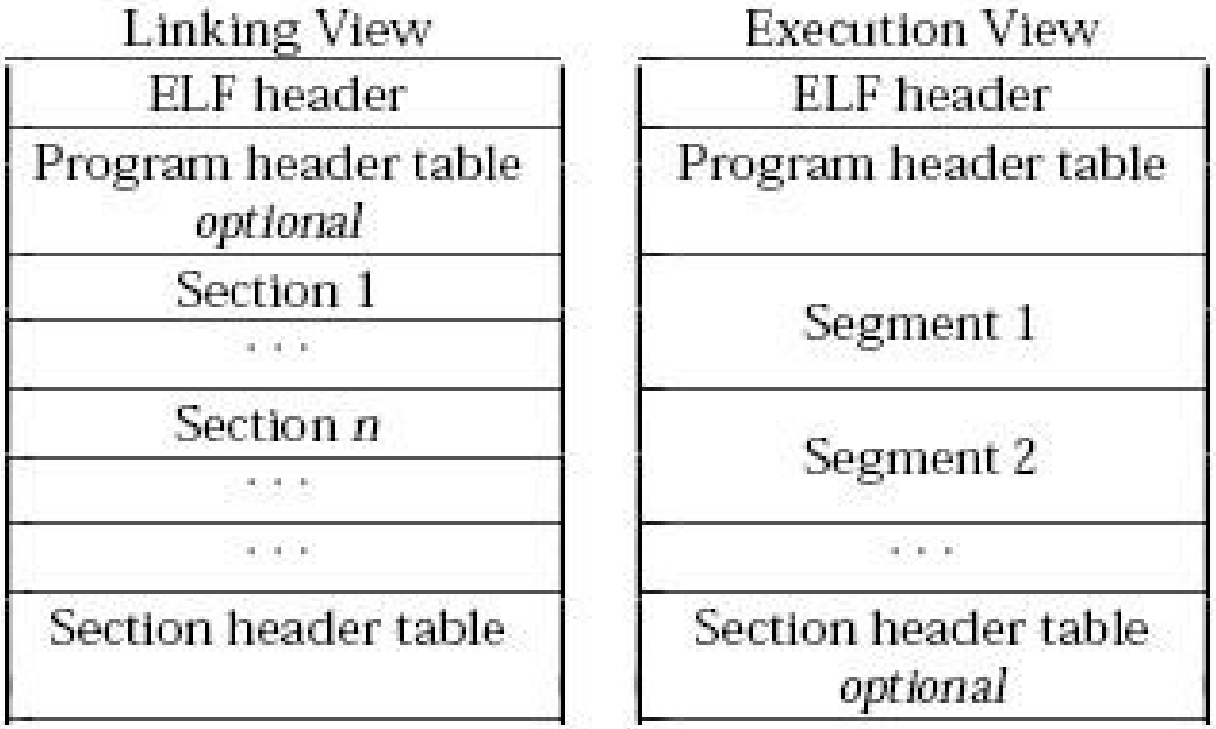
- Un file oggetto (o *modulo oggetto*) è un file che contiene il codice generato da un compilatore dopo aver processato un file sorgente.
- Un file oggetto può essere *linkato* con altri file oggetto per generare un file eseguibile o una *libreria* (file contenitore di più oggetti)
- Oltre a codice macchina, un file oggetto contiene istruzioni di rilocazione per il linker, simboli di programma e informazioni di debugging
- Uno specifico file oggetto fa riferimento ad uno dei vari formati codificati (a.out, COFF, ELF, ...)
- I tipi di dati supportati da un file oggetto sono:
  - *BSS (Block Started by Symbol)*: strutture dati globali non inizializzate
  - *text segment*: codice binario del programma (codice macchina)
  - *data segment*: strutture dati globali inizializzate
- Diventano *segmenti* una volta caricati in memoria

Formato ELF - I

- Executable and Linking Format (ELF): formato binario per i file eseguibili sviluppato e pubblicato da UNIX System Laboratories (USL)
- 3 tipi di file ELF:
  - *eseguibile*: codice e dati pronti per l'esecuzione
  - *rilocabile*: codice e dati pronti per il linking con altri file rilocabili e con le librerie dinamiche (*shared objects*)
  - *libreria dinamica*: codice e dati pronti per il *linker/loader dinamico* **`ld-linux.so`**
- Sono disponibili librerie e programmi di sistema (alcuni verranno citati in seguito nelle *binutils*) per manipolare ed estrarre informazioni sui file ELF

Formato ELF - II

- Gli *object file* sono generati dall'*assembler* e dal *link editor* e sono rappresentazioni binarie di programmi che dovranno essere eseguiti direttamente sulla CPU
- Vengono utilizzati nella fase di linking e per l'esecuzione del programma
- Sono organizzati all'interno in header e sezioni/segmenti (a seconda se l'object file è su disco – *linking view* – o in esecuzione – *execution view*)



Formato ELF - III

- I file ELF contengono diverse sezioni, tra cui:
  - **.bss:** dati non inizializzati che contribuisco all'immagine in memoria del programma
  - **.comment**: informazioni sul controllo di versione
  - **.data:** dati inizializzati che contribuisco all'immagine in memoria del programma
  - **.debug**: informazioni simboliche per debugging
  - **.dynamic**: informazioni per il linking dinamico
  - **.fini**: codice da eseguire dopo il codice utente
  - **.init**: codice da eseguire prima del codice utente
  - **.rel***name*: informazioni per la rilocazione
  - **.strtab**: stringhe associate con la *symbol table*
  - **.symtab:** symbol table
  - **.text:** istruzioni eseguibili del programma

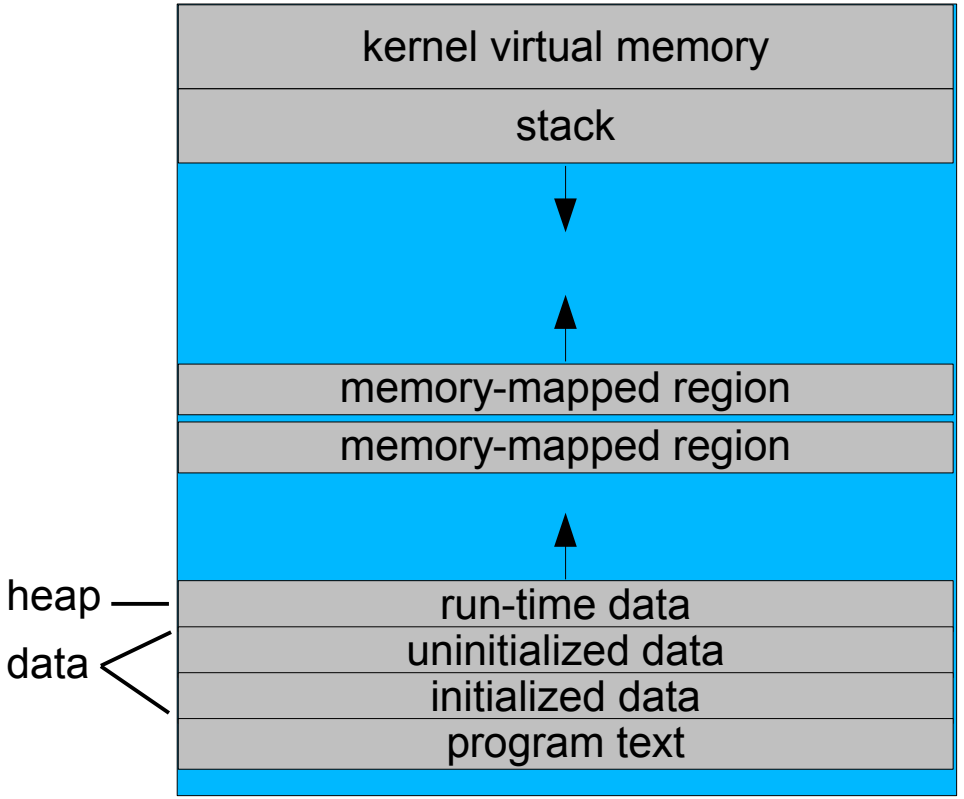
Formato ELF - IV

- L'*ELF header* risiede all'inizio del file e descrive l'organizzazione del file
- Il *program header*, presente soltanto per i file eseguibili, descrive come creare una *process image* in memoria
- Le sezioni contengono i dati centrali dell'*object file* (istruzioni, dati, symbol table, informazioni per la rilocazione)
- Esiste una *section header table* che permette di localizzare tutte le sezioni nel file
- Ogni sezione ha un *section header*
- Ogni sezione occupa una regione contigua di byte nel file e non può sovrapporsi alla sezione successiva
- Ci possono essere degli spazi vuoti nel file (*inactive space*)
- Il formato completo del file è definito in **`/usr/include/elf.h`**
- Il formato è descritto in **`man elf`**

Mappatura di file eseguibili nella memoria

- Il loader di Linux non carica i programmi nella memoria fisica, ma piuttosto esegue una mappatura dell'eseguibile sulla memoria virtuale
- Soltanto quando il programma inizia l'esecuzione e tenta di accedere ad una data pagina di memoria, il kernel rileva un *page fault* e procede all'effettivo caricamento della pagina nella memoria fisica

Configurazione in memoria virtuale dei vari segmenti per eseguibili in formato ELF



binutils

Le binutils sono una collezione di programmi per la gestione dei file oggetto ed eseguibili.

- **ar**: Create, modify, and extract from archives
- **nm**: List symbols from object files
- **objcopy**: Copy and translate object files
- **objdump**: Display information from object files
- **ranlib**: Generate index to archive contents
- **readelf**: Display the contents of ELF format files.
- **size**: List section sizes and total size
- **strings**: List printable strings from files
- **strip**: Discard symbols
- **c++filt**: Filter to demangle encoded C++ symbols
- **cxxfilt**: MS-DOS name for c++filt
- **addr2line**: Convert addresses to file and line
- **nlmconv**: Converts object code into an NLM
- **windres**: Manipulate Windows resources
- **dlltool**: Create files needed to build and use DLLs

Librerie statiche

- Sono contenitori di file oggetto
- Per convenzione il nome comincia con **`lib`** ed ha come estensione **`.a`**
- Create con il comando **`ar`**:
  `ar rcs libutil.a file1.o file2.o`
- Gradualmente sostituite dalle librerie dinamiche ma ancora utili ed usate, specialmente per sviluppi applicativi
- Si linkano come un normale file oggetto, tramite due opzioni di **`gcc`**:
  - **`-l`*`library`***, che in realtà viene passata a **`ld`**, per cui va specificata dopo i file da compilare; devono essere omessi prefisso (lib) ed estensione del nome della libreria (il cui nome reale è quindi **`liblibrary.a`**)
  - **`-L`** ***`libdir`***, che permette di specificare una directory in cui cercare le librerie (oltre a quelle utilizzate sempre per default)

Librerie dinamiche - I

- Sono contenitori di file oggetto
- Per convenzione il nome inizia per **`lib`** ed ha come estensione **`.so`** (shared object)
- I loro oggetti non vengono inseriti all'interno di file eseguibili, ma:
  - gli oggetti vengono caricati in memoria solo quando servono
  - possono essere condivisi tra più applicazioni
  - risulta sufficiente aggiornare la libreria senza toccare gli eseguibili (molto comodo per le librerie di sistema)
- Gli oggetti contenuti devono essere rilocabili (*position-independent*)
- Create mediante il compilatore o il linker/loader:

```
gcc -fPIC -c a.c
gcc -fPIC -c b.c
gcc -shared -Wl,-soname,libmystuff.so.1 -o
     libmystuff.so.1.0.1 a.o b.o -lc
```

Librerie dinamiche - II

- In Linux usano diversi nomi:
  - *realname* (comprende versione e release):
    `/usr/lib/libreadline.so.3.0`
  - *soname* (comprende solo la versione, spesso un link simbolico al realname creato da **`ldconfig`**):
    `/usr/lib/libreadline.so.3`
  - *linker name* (usato dal linker, di solito un link simbolico al *soname*, da creare manualmente):
    `/usr/lib/libreadline.so`
- Il loader **`/lib/ld.linux.so*`** si farà carico di portare in memoria gli oggetti necessari al momento dell'esecuzione, estraendoli dalle librerie che si aspetta di trovare nella *cache* creata da **`ldconfig`**, a sua volta caricata sulla base delle directory elencate in **`/etc/ld.so.conf`**
  (vedi **`man ldconfig`**).

Utilizzo di alcune binutils - I

- Creare un file **`main.c`** con il sorgente C dell'esempio in basso
- Generare un file eseguibile, compilandolo con
  `gcc main.c -o main`

```
#include "stdio.h"
#include "stdlib.h"
int myGlob=10;
int main(int argc, char **argv)
{
   int myLocal=3;
   printf("Hello - myGlob=%d, myLocal=%d\n",myGlob,myLocal);
   exit(0);
}
```

Utilizzo di alcune binutils - II

- Con **size** possiamo vedere le dimensioni dei diversi segmenti:

```
penguin@antarctic:~/binutils> size main.o
   text    data     bss     dec     hex filename
    934     268       4    1206     4b6 main
```

- Con **strings** possiamo vedere le stringhe memorizzate nel file:

```
penguin@antarctic:~/binutils> strings main
/lib/ld-linux.so.2
...
libc.so.6
printf
exit
...
GLIBC_2.0
PTRh@
Hello - myGlob=%d, myLocal=%d
```

Utilizzo di alcune binutils - III

- Con **nm** possiamo vedere tutti i simboli nel file:

```
penguin@antarctic:~/binutils> nm main
080495cc A __bss_start
08048330 t call_gmon_start
........
080483b0 T main
080495c8 D myGlob
........
         U printf@@GLIBC_2.0
0804830c T _start
```

- Significato di alcuni tag che definiscono il tipo di simbolo:

A:	il valore del simbolo è assoluto e non verrà modificato da ulteriori linking
B (BSS):	simbolo nella sezione dati non inizializzati
D (data):	simbolo nella sezione dati inizializzati
N:	il simbolo serve per il debug
R (readonly):	il simbolo sta in una sezione dati readonly
T (text):	il simbolo sta nella sezione text (codice)
U (*undefined):*	il simbolo non è definito all'interno del file (deve esser cercato in una libreria esterna)
W (weak):	per il simbolo esiste un default di sistema se non può essere risolto

Utilizzo di alcune binutils - IV

Con **readelf** possiamo ottenere informazioni molto dettagliate sul file oggetto:

```
penguin@antarctic:~/binutils> readelf -h main
ELF Header:
  Magic: 7f 45 4c 46 01 01 01 00 00 00 00 00 00 ...
  Class:                             ELF32
  Data:                              2's complement, little endian
  Version:                           1 (current)
  OS/ABI:                            UNIX - System V
  ABI Version:                       0
  Type:                              EXEC (Executable file)
  Machine:                           Intel 80386
  ...
```

Il compilatore gcc

```
#include "stdio.h"
int main(int argc, char **argv)
{
   printf("Hello\n");
}
```

- Per compilare questo programma con **gcc** e generare un eseguibile:

```
gcc hello.c -o hello
```

- Oppure si può procedere in 2 passi, prima si genera il file oggetto e poi si effettua il *linking* per generare l'eseguibile:

```
gcc -c hello.c
gcc hello.o -o hello
```

Le principali opzioni di `gcc`

- Per istruire il compilatore ad inserire informazioni simboliche necessarie al debugger **`gdb`** e generare un eseguibile:

```
gcc -g hello.c -o hello
```

- Per visualizzare molti “warning” sulle istruzioni sintatticamente corrette, ma sospette:

```
gcc -Wall hello.c -o hello
```

- Per generare codice binario ottimizzato:

```
gcc -O hello.c -o hello
```

- Per linkare la libreria dinamica **`libmy.so`** ed indicare anche il path della sua directory **`/usr/local/myLibs/`** (per linkare una libreria statica la sintassi è identica):

```
gcc hello.c -o hello -lmy -L/usr/local/myLibs
```

- Per indicare al preprocessore dove cercare gli include file:

```
gcc hello.c -I/usr/local/myInc -o hello
```

Compilare file multipli

- Per compilare più sorgenti e generare un eseguibile:

```
gcc file1.c file2.c -o myprog
```

- Quando il numero di file sorgente aumenta, è opportuno compilare i file separatamente e poi linkarli. In tal modo, se un sorgente viene modificato, basta ricompilare soltanto quel sorgente e linkare di nuovo l'eseguibile, senza dover ricompilare tutti gli altri sorgenti:

```
gcc -c file1.c
gcc -c file2.c
gcc file1.o file2.o -o myprog
vi file2.c
```

... editing e modifiche di file2.c ...

```
gcc -c file2.c
gcc file1.o file2.o -o myprog
```

Nota: `file1.c` non viene ricompilato, non essendo stato modificato. Tale tecnica verrà automatizzata con l'utilizzo di **`make`** (trattato in seguito).

Tabella riepilogativa

Input file	*Output file*	*Azione*	*Comando*
Sorgente .c	File oggetto .o	Preprocessing + compiling + assembling	gcc -c
Sorgente .c	Preprocessato .i	Preprocessing	gcc -E oppure cpp
Preprocessato .i	File assembler .s	Compiling	gcc -S
File assembler .s	File oggetto .o	Assembling	gcc -c oppure as
Files oggetto .o	Libreria statica .a	Creazione libreria	ar
Files oggetto .o	Libreria dinamica .so	Creazione libreria	gcc -shared
Files oggetto .o + librerie statiche .a + librerie dinamiche .so	Eseguibile	Linking	gcc -o oppure ld
Eseguibile	Processo	Loading	ld-linux.so

Il debugger `gdb`

- Un debugger è un programma che permette all'utente di controllare completamente l'esecuzione di un altro programma e di esaminare il valore delle variabili
- Un debugger viene chiamato in causa generalmente come ausilio per la risoluzione delle seguenti questioni:
  - Su quale istruzione o espressione il programma ha dato errore?
  - Quale linea di programma contiene la chiamata alla funzione in cui si è verificato l'errore e quali erano i valori dei parametri passati?
  - Quali sono i valori delle variabili ad un certo punto dell'esecuzione del programma?
  - Qual è il risultato di una particolare espressione nel programma?
- Il debugger più diffuso in ambiente Linux è **`gdb`**, il debugger della GNU

Come utilizzare `gdb`

- Bisogna prima di tutto informare il compilare che si intende creare una versione dell'eseguibile adatta al debugging. Si utilizza il flag **`-g`** nel comando **`gcc`** di compilazione del sorgente:

```
gcc -g trees.c -o trees
```

- Si lancia il debugger indicando come file di input l'eseguibile:

```
gdb trees
```

- A questo punto si può interagire con l'interfaccia a linea di comando di gdb. Esiste una serie di comandi per definire breakpoint, lanciare il programma, visualizzare i valore di variabili, procedere passo passo nell'esecuzione

- Esistono anche delle versioni dotate di interfaccia grafica, per esempio: **`xgdb`** e **`ddd`**

I comandi gdb - I

- **`run command-line-arguments`**

Lanciare il programma nel modo usuale con i vari argomenti e sostituendo al nome del programma il comando **`run`**

- **`break place`**

Crea un *breakpoint*; il programma si ferma quando l'esecuzione arriva al breakpoint. E' spesso comodo mettere un breakpoint all'inizio di una funzione da analizzare:

```
(gdb) break myFunc
Breakpoint 2 at 0x2290: file main.c, line 20
```

Il comando break permette di fermare l'esecuzione all'inizio della funzione. Si può anche mettere un breakpoint su di una linea di codice del file sorgente:

```
(gdb) break 20
Breakpoint 2 at 0x2290: file main.c, line 20
```

Lanciando il programma, quando si raggiunge il breakpoint si ha un messaggio del tipo:

```
Breakpoint 1, myFunc (head=0x6110, NumNodes=4) at main.c:16
```

I comandi gdb - II

- **`delete N`**

Cancella il breakpoint numero **`N`**. Se si omette **`N`**, verranno cancellati tutti i breakpoint. Utilizzare **`info`** per visualizzare informazioni sui breakpoint.

- **`help command`**

Fornisce una breve descrizione di un comando **`gdb`** o di un argomento.

- **`step`**

Esegue la linea corrente di programma e si ferma alla prossima istruzione.

- **`next`**

Simile a **`step`**, tuttavia se la linea corrente è una chiamata ad una funzione, esegue l'intero codice della funzione e si ferma alla linea seguente (cioè non "entra" nel codice della funzione, come **`step`**).

- **`list`**

Mostra alcune righe di codice sorgente intorno alla linea corrente.

I comandi gdb - III

- **`list [file:]funtion`**

Mostra alcune righe di codice sorgente intorno alla funzione “function” del file corrente oppure del file “file” se specificato

- **`finish`**

Continua ad eseguire il comando **`next`** fino alla fine della funzione corrente

- **`continue`**

Continua l'esecuzione regolare del programma fino al prossimo breakpoint

- **`where / backtrace`**

Visualizza la gerarchia di chiamate delle funzioni che hanno portato il programma all'istruzione corrente.

I comandi gdb - IV

- **`print E`**

Stampa il valore di E, dove E è un'espressione in C (di solito è soltanto una variabile). Il comando **`display E`** è simile, eccetto che ogni volta che si esegue un comando **`next`** o **`step`**, ristampa il valore

- **`info locals`**

Stampa il valore di tutte le variabili della funzione corrente

- **`info args`**

Stampa il valore di tutti gli argomenti passati alla funzione corrente

- **`quit`**

Esce da **`gdb`**.

Come utilizzare `gdb` su un programma in esecuzione (I)

- Per *debuggare* un processo, si forniscono sulla linea comandi nome dell'eseguibile e pid del processo:

```
gdb program 1234
```

- In alternativa, dalla linea comandi di **`gdb`**:

```
file program
```

```
attach 1234
```

- E' opportuno che il programma sia in attesa, per esempio:
  - di un evento (e.g., lettura da pipe)
  - di un segnale (e.g., SIGUSR1)
  - in sleep per un tempo lungo (e.g., 100s)

Come utilizzare `gdb` su un programma in esecuzione (II)

- In ogni caso, il processo viene bloccato
- Dopo l'operazione di attach:
  - inviare il segnale o provocare l'evento per sbloccare il processo
  - il processo rimane bloccato sull'istruzione successiva
  - definire i breakpoint nei punti di interesse
  - ripartire con **`continue`**, **`step`** o **`next`**

Ausilio alla compilazione: l'utility `make` (I)

- **Il problema:**
  - Programmi di grandi dimensioni non possono essere contenuti in un file singolo, ma devono essere organizzati e suddivisi in vari file.
  - Nel linguaggio C, ad esempio, un programma complesso è organizzato su numerosi file:
    - i file *.h contengono le funzioni prototipo ed eventuali costanti
    - i file *.c contengono le definizioni di funzioni
    - i file *.c contengono direttive per il preprocessore di inclusione dei file *.h di pertinenza
    - il file *.c vengono preprocessati e compilati separatamente per generare dei file oggetto
    - viene generato un eseguibile (o una libreria) tramite linking dei file oggetto

Ausilio alla compilazione: l'utility `make` (II)

- **Lo strumento:**
  - L'utility **`make`** permette di gestire automaticamente la compilazione ed il linking dei file sorgenti di un programma
  - Tiene traccia delle relazioni tra i moduli che compongono il programma
  - Esegue solo i comandi necessari alla ricostruzione del file eseguibile in funzione dei sorgenti che sono stati modificati dopo l'ultima compilazione
  - **`make`** utilizza un file di configurazione denominato ***`makefile`***
  - Il nome di default utilizzato da make per il makefile è **`GNUmakefile`** o **`makefile`** o **`Makefile`**
  - L'utility **`make`** può essere utilizzata non solo per la compilazione ma in generale per qualunque operazione che dipenda dalla disponibilità di file nuovi o modificati

Esempio 1 (I)

Il *main*

```
/* sample.c */
#include <stdio.h>
#include "my_math.h"
int main()
{
   int a, b, c;
   puts("Input three numbers:");
   scanf("%d %d %d", &a, &b, &c);
   printf("The average of %d %d %d is %f.\n",
          a,b,c,average(a,b,c));
   return 0;
}
```

Esempio 1 (II)

I file *.h e *.c

```
/* my_math.h */
#define PI 3.1415926
float average(int x,
   int y, int z);
float sum(int x,
   int y, int z);
```

```
/* my_math.c */
#include "my_math.h"
float average(int x, int y,
   int z)
{
   return sum(x,y,z)/3;
}

float sum(int x,
   int y, int z)
{
   return x+y+z;
}
```

Come ragiona il `make`: le dipendenze

- **Per generare `my_math.o`**
  - Abbiamo bisogno di **`my_math.c`** e **`my_math.h`**
  - **`gcc -c my_math.c`**
- **Per generare `sample.o`**
  - Abbiamo bisogno di **`sample.c`** e **`my_math.h`**
  - **`gcc -c sample.c`**
- **Per generare l'eseguibile**
  - Abbiamo bisogno di **`my_math.o`** e **`sample.o`**
  - **`gcc -o sample sample.o my_math.o`**

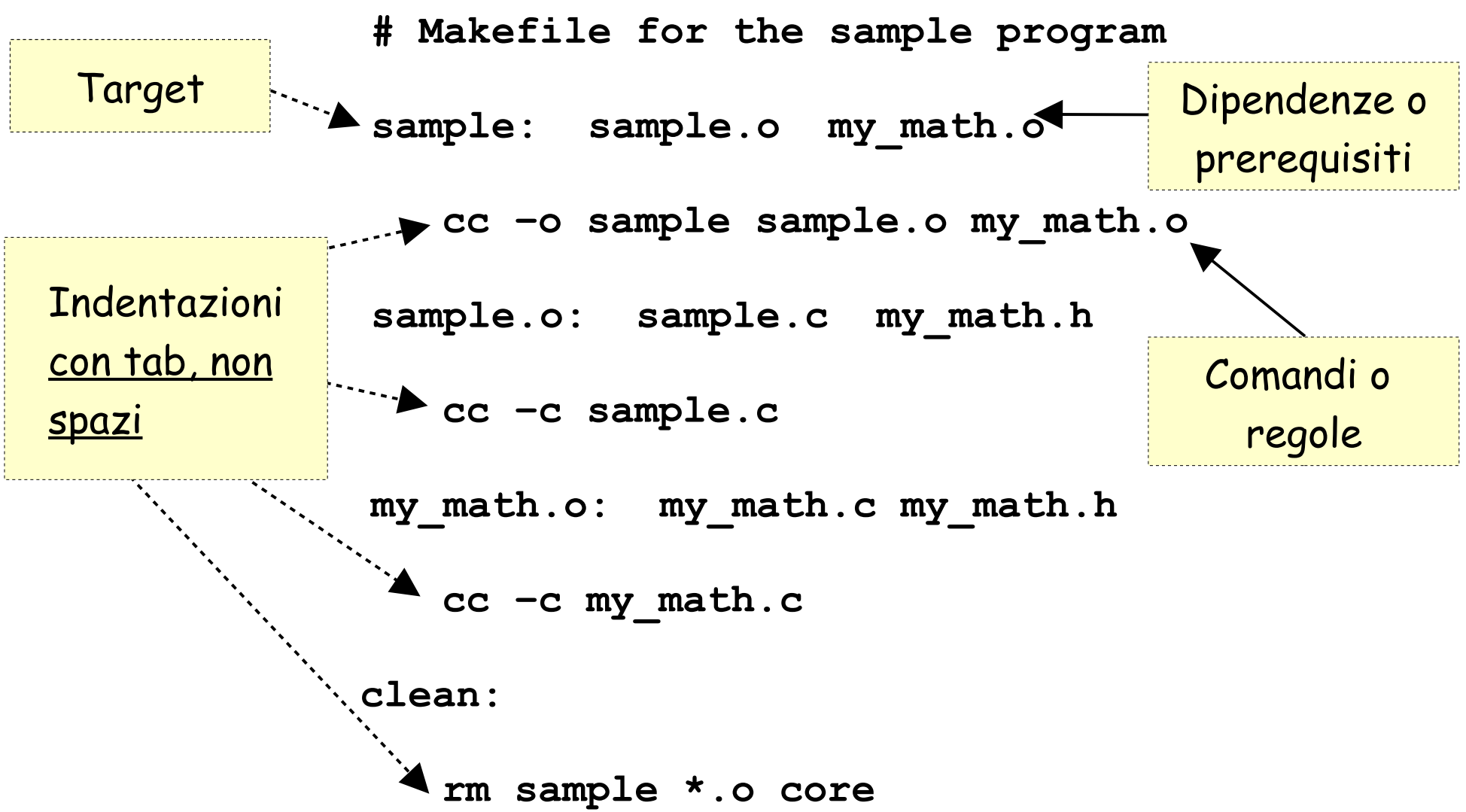
La struttura del *makefile* (I)

- **Un makefile consiste in un insieme di regole del tipo:**

```
target ... : prerequisiti ...
        regola1
        regola2
        ...
```

- **Target:**
  - nome del file da generare
  - nome simbolico indicante un'azione da svolgere
- **Prerequisiti:**
  - i file utilizzati come input devono essere già esistenti e le altre azioni definite dal makefile devono essere già completate prima di passare ad eseguire le regole
- **Regole**
  - comandi da eseguire per svolgere le varie attività necessarie al raggiungimento o generazione del target
- **Da dove parte il motore logico di analisi del make:**
  - la prima regola incontrata nel makefile è la prima elaborata ed è detta regola di *default*, o *radice*

La struttura del *makefile* (II)



Come utilizzare `make`

- Si scrive il **`makefile`** codificando opportunamente target, dipendenze e regole per la compilazione ordinata del programma
- Si lancia l'utility **`make`**
- **`make`** verifica le regole e le dipendenze, identifica la “regola radice” da cui partire e rigenera in modo ordinato, secondo le dipendenze codificate, i file target per i quali è necessario un aggiornamento, cioè quelli con data antecedente ad almeno una delle proprie dipendenze

Esempio (I)

```
% ls -l
... Sep  9 19:50 sample.c
... Sep  9 19:46 sample
... Sep  9 19:43 sample.o
... Sep  9 19:24 my_math.o
... Sep  9 19:20 my_math.c
... Sep  9 19:05 my_math.h
```

```
# Makefile for the sample program
sample:  sample.o  my_math.o
    cc -o sample sample.o
my_math.o
sample.o:  sample.c  my_math.h
    cc -c sample.c
my_math.o:  my_math.c my_math.h
    cc -c my_math.c
clean:
    rm sample *.o core
```

Esempio (II)

- **`sample`** è il target da generare, quindi si parte da qui per analizzare tutta la gerarchia delle dipendenze
- **`sample.o`** esiste ma dipende da **`sample.c`** che è più recente, quindi va rigenerato applicando la regola: **`cc -c sample.c`**
- **`my_math.o`** esiste e non deve essere rigenerato in quanto più recente delle sue dipendenze **`my_math.c`** e **`my_math.h`**
- A questo punto **`sample`** risulta più vecchio di **`sample.o`** quindi va rigenerato: **`cc -o sample sample.o my_math.o`**

Ricompilazione e *cleanup*

- E' bene inserire una regola per rimuovere i file che possono essere rigenerati, quelli di backup dell'editor, i *core* file

```
clean:
    rm sample *.o core
```

```
$ make clean
```

- Per ricompilare tutto il progetto:
  - Rimuovere tutti i file generati e lanciare il make:
    - **`make clean; make`**
  - Oppure è possibile cambiare la data di ultima modifica di un file da cui dipendono tutti (direttamente o indirettamente):
    - **`touch my_math.h; make`**
    - **Nota**: il comando **`touch my_math.h`** fa prendere l'ora corrente al file

Utilizzo delle variabili nei makefile

- **Variabili nei makefile**
  - Utilizzate per semplificare la modifica dei Makefile
  - Utilizzate per ridurre la dimensione dei file semplificando espressioni ripetute
- **Sintassi**
  - Definizione: **`name = value`**
  - Riferimenti: **`$(name)`** o **`${name}`**
- **Esempi**

```
CC      = gcc
HDIR    = include
```

Variabili predefinite e automatiche

- Alcuni esempi di variabili predefinite:
  - `CC` specifica il compilatore C da utilizzare (default: `cc` o `gcc`)
  - `CFLAGS`: opzioni di default da passare al compilatore
- Alcuni esempi di variabili automatiche:
  - `$@` nome del target della regola corrente
  - `$?` lista delle dipendenze all'interno della regola corrente che hanno una data piu' recente del target
  - `$^` lista di tutte le dipendenze all'interno della regola corrente
  - **Nota**: si possono passare variabili anche al momento dell'invocazione: `make 'OBJECTS=file1.o file2.o'`

Un esempio di makefile con macro

```
CC      = gcc
HDIR    = include
INCPATH = -I$(HDIR)
DEPH    =  $(HDIR)/queue_types.h \
           $(HDIR)/stack_types.h
OBJECTS = stack.o queue.o

main: main.o $(OBJECTS)
    $(CC) -o main main.o $(OBJECTS)
main.o: main.c $(DEPH)
    $(CC) $(INCPATH) -c main.c
stack.o: stack.c $(DEPH)
    $(CC) $(INCPATH) -c stack.c
queue.o: queue.c $(DEPH)
    $(CC) $(INCPATH) -c queue.c
clean:
    rm  -f  *.o  main  core
```

Makefile "avanzati"

- **Le funzionalità di make non si esauriscono qui**
  - Strutture di controllo come statement condizionali e loop
  - Dipendenze automatiche e regole implicite che agiscono come default quando non sono presenti regole esplicite
  - Semplici funzioni di supporto per trasformare testo
  - Variabili automatiche che si riferiscono a vari elementi di un makefile, come target e dipendenze.

Dipendenze automatiche (I)

- **make** è in grado di inferire alcune dipendenze e regole, basandosi su di un database interno di regole standard

```
OBJECTS = main.o kbd.o command.o display.o \
          insert.o search.o files.o utils.o

edit : $(OBJECTS)
        cc -o edit $(OBJECTS)

main.o : defs.h
kbd.o : defs.h command.h
command.o : defs.h command.h
display.o : defs.h buffer.h
insert.o : defs.h buffer.h
search.o : defs.h buffer.h
files.o : defs.h buffer.h command.h
utils.o : defs.h
```

Dipendenza automatica da main.c
Regola implicita:
    gcc -c main.c

Dipendenze automatiche (II)

- Uno stile alternativo: è possibile "raggruppare" le dipendenze

```
OBJECTS = main.o kbd.o command.o display.o \
          insert.o search.o files.o utils.o

edit : $(OBJECTS)
        cc -o edit $(OBJECTS)

$(OBJECTS) : defs.h
kbd.o command.o files.o : command.h
display.o insert.o search.o files.o : buffer.h
```

Regole “statiche”

- Specificano il comportamento per una classe di file

```
.PHONY: all eps png
all: eps png
eps: quota.eps transfer.eps single.eps
png: quota.png transfer.png single.png

%.eps : %.plt seteps.gpt
    gnuplot seteps.gpt $< ; mv output.eps $@

%.png : %.plt seteps.gpt
    gnuplot setpng.gpt $< ; mv output.png $@

clean:
    rm -f *.eps *.png
```

Afferma che sono solo identificativi di azioni, non nomi di file

Identifica il prerequisito

Identifica il target

Alcune opzioni di make

- **`make -f file`**: utilizza ***`file`*** come makefile
- **`make -n`**: stampa i comandi che verrebbero eseguito, senza però eseguirli realmente
- **`make -d`**: stampa informazioni di debug, oltre a quelle standard
- **`make -p`**: stampa il database (regole e valori delle variabili) a seguito del processamente del **`makefile`**; vengono anche stampate tutte le variabili e regole predefinite
- **`make -C dir`**: cambia la directory a “dir” prima di leggere il Makefile e fare qualsiasi operazione

Documentazione

- *The ELF Object File Format: Introduction* di E. Youngdale, Linux Journal
- *ELF: from the Programmer's Perspective* di Hongjiu Lu
- *Program Library HOWTO* di D. Wheeler
- *The GNU Binary Utilities* di R. Pesch e J. Osier, Free Software Foundation
- *Debugging with gdb* di R. Stallman, R. Pesch et al, Free Software Foundation
- http://www.gnu.org/software/make/manual/make.html