Strumenti per la programmazione in C

Laboratorio Sistemi Operativi

Antonino Staiano
Email: antonino.staiano@uniparthenope.it

Il linguaggio C

- Studio delle system call (chiamate di sistema) che consentono di sfruttare appieno le potenzialità di Unix quali
  - gestione dei file
  - multitasking
  - interprocess communication (IPC)
- Utilizzeremo il C come linguaggio "ambiente" per sperimentare la programmazione di sistema

Perché il C?

- La scelta del linguaggio di programmazione è un vecchio dibattito in informatica
  - Per lo sviluppo di applicazioni è una questione aperta
- Per la programmazione di sistema ci sono pochi dubbi, il C
  - Il C è molto vicino all'hardware
  - Molti costrutti si traducono facilmente nel codice macchina
  - I tipi di dati disponibili riflettono ciò che supporta direttamente l'hardware
  - L'accesso alla memoria indiretto (via i puntatori) consente ai programmatori di accedere a tutte le parti del sistema
  - Storicamente UNIX scritto in C ed anche il kernel di Linux
    - Molti software di sistema sono scritti in C
    - I driver delle periferiche sono quasi tutti scritti in C
    - Il C è veloce (conseguenza del suo più basso livello di astrazione rispetto ad altri linguaggi)

Strumenti per la programmazione C

- Si assume una conoscenza dei costrutti di base
- Vedremo qualche cenno/ripasso
  - Compilazione e linking
  - Debugging
  - Programmazione modulare
    - Suddivisione di un programma in moduli e header file
    - Dipendenze tra i moduli: make

Compilazione di un programma C in UNIX/Linux

- Ogni versione di Unix ha un compilatore standard per il linguaggio C, generalmente chiamato cc
- Nel caso di GNU Linux è presente **gcc** (GNU C compiler) conforme allo standard POSIX (in Linux cc è un link simbolico a gcc)
- La sintassi esprime in maniera vaga l'ordine degli argomenti nella riga di comando e in effetti non c'è una particolare rigidità

  gcc [<opzioni>|<file>]...
- Estensioni tipiche dei nomi dei file
  - .c Sorgente C
  - .o File oggetto
  - .a Libreria di file oggetto

Compilatore standard

- Per compilare un programma sorgente **source.c**

  gcc source.c

  che genera l'eseguibile **a.out**
- Si può scegliere il nome dell'eseguibile utilizzando l'opzione **–o**

  gcc source.c -o target

Compilatore standard: Opzioni Comuni

- **-c** genera i file oggetto, senza effettuare il link dell'eseguibile finale
- **-g**

  Aggiunge informazioni diagnostiche utili per il debugging attraverso strumenti appositi come **gdb**
- **-o *file***

  Indica che il file generato dalla compilazione (eseguibile, oggetto o altro) si deve chiamare ***file***
- **-l *libreria***

  Utilizza la libreria il cui nome inizia per **lib**, continua con il nome indicato, e termina con **.a** oppure **.so**
- **-v** genera informazioni dettagliate sulla compilazione

Compilazione

Costruzione di un programma

- Una volta scritto un programma questo deve essere trasformato in un eseguibile
  - La costruzione di un programma consiste in una serie di passi
  - Ad ogni passo, il codice è trasformato in una forma intermedia
    - Preprocessed, codice assembly, codice oggetto e librerie
- E' importante comprendere ciascun passo per diversi motivi
  - Ognuno offre più strategie per risparmiare tempo di programmazione e per massimizzare le risorse del sistema
    - La fase di preprocessing fornisce le macro per la sostituzione ripetitiva di stringhe
    - Il passo assembly fornisce il programmatore dei nomi per le locazioni di memoria
    - Il passo di linking fornisce un modo per il riuso di codice eseguibile esistente in programmi multipli
  - Le forme intermedie possono essere mantenute tra i vari *build* del programma per velocizzare i rebuild successivi

Codice oggetto e linking

- I passi fondamentali nella costruzione di un programma sono la compilazione ed il linking
  - Trasformano il codice sorgente in un file eseguibile
    - Il codice sorgente è il programma C scritto dal programmatore
- Es:

```
#include <stdio.h>
int OurSquareRoot(int n)
{
  if (n==4)
       return(2);
  else
  {
     printf("Non posso calcolare la radice quadrata di %d\n",n);
     return(-1);
  }
}
```


Codice oggetto e linking

- Se questo codice è memorizzato nel file sqrt.c, può essere compilato in un codice oggetto come segue:

```
$ ls
sqrt.c
$ gcc –c sqrt.c
$ ls
sqrt.c sqrt.o
$
```

- Il flag –c dice al compilatore di fermarsi dopo la fase di compilazione e di non procedere al linking
- Il codice oggetto (sqrt.o) contiene il codice macchina, istruzioni che possono essere eseguite su un processore
  - Un file oggetto, tuttavia, non può essere eseguito direttamente
  - Il codice oggetto deve essere collegato (linked) per poter diventare un programma eseguibile da mandare in esecuzione
  - Il linking è il processo che consiste nel mettere insieme pezzi multipli di codice oggetto e di organizzarli in un eseguibile
  - Il codice oggetto può provenire da file di codice sorgente multipli, ognuno compilato nel proprio codice oggetto

Esempio

```
#include <stdio.h>
int OurSqareRoot(int);
int main(int argc, char *argv[])
{
      int x,s;
      printf("Inserisci un intero: ");
      scanf("%d",&x);
      s=OurSquareRoot(x);
      if(s!=-1)
        printf("La radice quadrata di %d: %d\n",x,s);
}
```

Esempio(1)

- Se il codice è memorizzato nel file main.c, lo possiamo compilare come

```
$ gcc –c sqrt.c
$ gcc –c main.c
$ ls
main.c main.o sqrt.c sqrt.o
$ gcc sqrt.o main.o
$ ls
a.out main.c main.o sqrt.c sqrt.o
$
```


Esempio(2)

- Abbiamo creato due file oggetto, main.o e sqrt.o
  - Successivamente, abbiamo creato l'eseguibile, a.out, collegando insieme i due file relativi al codice oggetto
- L'eseguibile è il file che mandiamo in esecuzione

```
$ ./a.out
Inserisci un intero: 4
La radice quadrata di 4: 2
$
```

- Per capire la differenza tra file eseguibile e oggetto

```
$ gcc sqrt.o
 … undefined reference to 'main'
$
```

- Il compilatore non è in grado di creare l'eseguibile poiché non ha trovato la funzione main() nel file oggetto dato
- Un eseguibile può contenere un qualsiasi numero di funzioni ed esattamente una sola funzione main()
  - In questo modo quando il programma è eseguito sa dove deve cominciare l'esecuzione

Compilazione e linking

- Quando si compila, a meno che non specificato diversamente, gcc procede anche al linking in modo automatico, rimuovendo qualsiasi codice oggetto intermedio
  - Ciò semplifica il lavoro del programmatore che non ha necessità di eseguire separatamente tutti i passi di compilazione e linking
- Tuttavia, quando si compilano file multipli, è conveniente istruire il compilatore in modo che mantenga il codice oggetto
  - Solo i file i cui sorgenti sono modificati devono essere ricompilati
  - Tutto il resto deve solo essere linkato
  - Ciò consente di risparmiare tempo quando il programma è costituito da un numero elevato di file sorgenti

Linking

- Il linking serve innanzitutto per mettere assieme i file oggetto in un eseguibile
  - Serve anche per mettere insieme codice oggetto da file di libreria
  - I file di libreria contengono codice oggetto per funzioni usate in modo frequente
    - In questo modo, il codice sorgente può essere compilato solo una volta e memorizzato in un posto pronto per il link
    - Es.: la libreria più spesso collegata è libc.a, il file di libreria principale per la libreria standard del C
      - Contiene il codice oggetto per le funzioni standard come printf(), strcmp() ecc.
    - Poiché tali funzioni sono usate molto spesso, il loro codice oggetto è tenuto in modo permanente in un file di libreria quindi non necessitano di essere ricompilate ogni volta

Linking ad un file di libreria

```
$ gcc main.o sqrt.o -lc
$
```

- Il flag –lc dice a gcc di linkare un file di libreria chiamato libc.a
- Il linking avviene in modo del tutto simile a quanto avviene per i file oggetto
  - **N.B.**: gcc fa il link a libc.a di default per cui in generale non è necessario esplicitare –lc
    - **-l*X*** cerca nelle directory standard **/lib**, **/usr/lib** e **/usr/local/lib** un file di libreria chiamato **libX.a**
    - **-L*path*** estende la lista di path standard suddetta
- Normalmente, i file oggetto sono copiati nell'eseguibile
  - Se ciò avviene anche per il codice oggetto contenuto nelle librerie il risultato è di avere del codice oggetto ridondante in tutti i file eseguibili che usano la libreria di funzioni

Linking dinamico

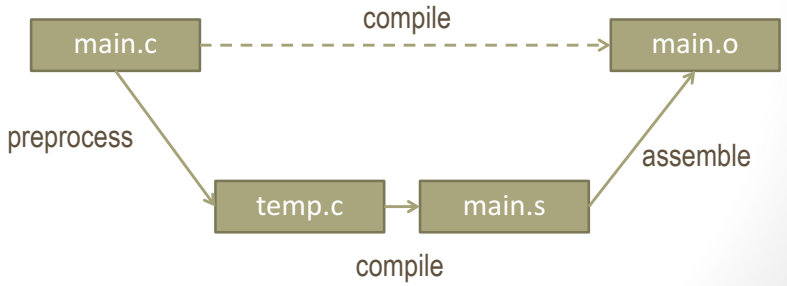
- Una libreria può essere collegata in modo dinamico
  - Il codice oggetto non è copiato nell'eseguibile
  - Durante l'esecuzione del programma, se è necessario il codice oggetto da un file di libreria, il codice è caricato in memoria direttamente dal file di libreria

```
$ gcc main.c sqrt.c
$ ls -al a.out
-rwxr-xr-x 1 student student 7442   a.out
$ gcc -static main.c sqrt.c
$ ls -al a.out
-rwxr-xr-x 1 student student 476153   a.out
$
```

- Nel secondo caso la libreria è linkata in modo statico
  - Tutto il codice oggetto è copiato nell'eseguibile
  - Notevole spreco di spazio, ma
  - Maggiore velocità di esecuzione
  - Se una libreria è rimossa l'eseguibile continua a funzionare normalmente

Compilazione più nel dettaglio

- Il processo consiste di tre passi
  - Preprocessing
  - Compiling
  - Assembling



Compile: preprocessing

- Fornisce il meccanismo per il supporto alla sostituzione di testo
  - Chiamato anche macro o sostituzione di macro

```
// Sorgente: pre1.c
#include <stdio.h>
#define PI 3.14       //direttiva per il preprocessore
#define SQRT2 1.7     //direttiva per il preprocessore
int main(inr argc, char *argv[])
{
   printf("PI = %lf\n",PI);
   printf("PI = %lf e la radice quadrata di 2 = %lf\n",PI,SQRT2);
}
```

Compile: preprocessing (2)

```
$ gcc -E pre1.c
.
.
int main(int argc, char *argv[])
{
   printf("PI = %lf\n",3.14);
   printf("PI = %lf e la radice quadrata di 2 = %lf\n",3.14,1.7);
}
```

- L'opzione –E dice a gcc di fermarsi dopo la fase di preprocessing
  - Possiamo salvare il risultato nel file temp.c usando l'opzione –o e riprendere la compilazione da questo punto invocando gcc su temp.c

```
$ gcc temp.c
$ ./a.out
PI = 3.140000
PI = 3.140000 e la radice quadrata di 2 = 1.700000
```


Compile: preprocessing (3)

- Un altro uso della fase di preprocessing è copiare codice sorgente usato frequentemente
- Supponiamo che il seguente codice sia in un file globals.h

```
/* variabili globali */
int x;
```

- Possiamo usarlo nei file sorgenti come segue

```
/* file pre2.c */
#include "globals.h"
int main(int argc, char  *argv[])
{
      x=2;
      printf("x=%d\n",x);
}
```


Compile: preprocessing (4)

```
$ gcc -E pre2.c
.
.
/* variabili globali */
int x;
int main(int argc, char  *argv[])
{
       x=2;
       printf("x=%d\n",x);
}
```

- Il contenuto del file globals.h è copiato, riga per riga, al posto della riga #include
  - Ci sono due posti in cui diciamo al preprocessore di ricercare i file da includere
  - #include <stdio.h> // cerca nel path di sistema
  - #include "globals.h" // cerca nella dir corrente altrimenti uguale a <>

Compile: compilazione

- Conversione del codice sorgente in codice assembly

```
/* file pre3.c */
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
       int x,y,s;
       y=1;
       s=0;
       for (x=0; x<10; x++)
       {
              y=y<<1;
              s=s+y;
       }
       printf("s=%d\n",s);
}
```

Compile: compilazione (2)

- Compiliamo e fermiamoci subito dopo la traduzione in codice assembly (opzione –S di gcc)

```
$ gcc -S pre3.c
.file   "pre.c"
        .section  .rodata
.LC0:
        .string   "s=%d\n"
        .text
.globl main
        .type     main, @function
main:
        pushl     %ebp
        movl      %esp, %ebp
        andl      $-16, %esp
        subl      $32, %esp
        movl      $1, 24(%esp)
        movl      $0, 20(%esp)
        movl      $0, 28(%esp)
        jmp       .L2
[…]
```

- Il passo finale, assembling, consiste nella traduzione del codice assembly in eseguibile

Debug

Debugger

- Il debugger è un programma. Per illustrarne il funzionamento, consideriamo il seguente codice

```
/* sum.c */
#include <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[])
{
   int i,sum;
   sum=0;
   for (i=0; i<10; i++)
      if (i<5)
        sum=sum+i;
      else
        sum=sum+((i-3)/2+(i/3));
   printf("sum=%d\n",sum);
}
```


Debugger

- **gdb** è il debugger standard di GNU / Linux
  - il file specificato come argomento è caricato nel debugger
  - vari comandi permettono
    - esecuzione passo-passo (**step**)
    - vedere il valore di una variabile (**print**) ed il tipo (**whatis**)
    - analizzare il sorgente (**list**)
    - stabilire dei breakpoint (**break**)
    - visualizzare espressioni (**display**)
    - cercare funzioni
  - occorre compilare il programma con l'opzione **-g** di **gcc** (inserisce informazioni aggiuntive per il debugger)

Avvio di gdb

- Si compila e poi si invoca il debugger sull'eseguibile

```
$ gcc -g sum.c
$ gdb a.out
Reading symbols from /home/staiano/a.out...done.
(gdb) run
Starting program: /home/staiano/a.out
sum=29

Program exited with code 07.
(gdb) quit
```

- Durante la creazione dell'eseguibile, il compilatore memorizza informazioni aggiuntive sul programma, la tabella dei simboli
  - Include una lista di nomi di variabili usate dal programma, nel nostro caso i e sum
  - Il programma è anche compilato senza ottimizzazione

gdb: breakpoint

- E' utile eseguire il debug impostando dei breakpoint
  - Si dice a gdb di eseguire il programma fino al punto indicato e di mettere in pausa il programma

```
(gdb) break 13
Breakpoint 1 at 0x80483f1: file sum.c, line 13.
(gdb) run
Starting program: /home/staiano/a.out

Breakpoint 1, main (argc=1, argv=0xbffff4a4) at sum.c:13
13      sum=sum+((i-3)/2+(i/3));
(gdb) display i
1: i = 5
(gdb) where
#0  main (argc=1, argv=0xbffff4a4) at sum.c:13
(gdb)
```


gdb: breakpoint (2)

- Quando il programma è in pausa ci sono tre modi per riavviarlo
  - step: esegue la prossima riga di codice e rimette in pausa
  - next: uguale a step ma se la riga successiva è una chiamata a funzione, gdb esegue tutte le istruzioni nella funzione e rimette in pausa dopo il ritorno della stessa
  - continue: continua l'esecuzione fino al successivo breakpoint
- Per rimuovere i breakpoint si usa il comando clear

```
(gdb) step
9       for (i=0; i<10; i++)
(gdb) next
10      if (i<5)
(gdb) next

Breakpoint 1, main (argc=1, argv=0xbffff4a4) at sum.c:13
13      sum=sum+((i-3)/2+(i/3));
(gdb) next
9       for (i=0; i<10; i++)
(gdb) next
10      if (i<5)
(gdb) next

Breakpoint 1, main (argc=1, argv=0xbffff4a4) at sum.c:13
13      sum=sum+((i-3)/2+(i/3));
(gdb)
```


gdb: visualizzare le variabili

- Esistono due modi
  - print: singola richiesta per esaminare il valore
    - visualizza la variabile solo una volta fino a che non gli è nuovamente richiesto
  - display: richiesta continua
    - visualizza il valore della variabile ogni volta che il programma è messo in pausa

```
(gdb) break 13
Breakpoint 1 at 0x80483f1: file sum.c, line 13.
(gdb) run
Starting program: /home/staiano/a.out
Breakpoint 1, main (argc=1, argv=0xbffff4a4) at sum.c:13
13      sum=sum+((i-3)/2+(i/3));
(gdb) display i
1: i = 5
(gdb) continue
Continuing.

Breakpoint 1, main (argc=1, argv=0xbffff4a4) at sum.c:13
13      sum=sum+((i-3)/2+(i/3));
1: i = 6
(gdb)
```

Esempio 1: Crash dei programmi

```
/* crash1.c */
#include <stdio.h>
int main()
{
int x,y;
y=54389;
for (x=10;x>=0; x--)
       y=y/x;
printf("%d\n",y);
}
$ gdb crash1
(gdb) run
Starting program: /home/staiano/crash1

Program received signal SIGFPE, Arithmetic exception.
0x080483e8 in main () at crash1.c:7
7               y=y/x;
(gdb) display x
1: x = 0
(gdb)
```


Esempio 2: Crash dei programmi

```
/* crash2.c */
#include <stdio.h>
main()
{
int x,y,z[3];
y=54389;
for (x=10;x>0; x--)
       z[y]=y/x;
printf("%d\n",z[0]);
}
$ ./crash2
Errore di segmentazione
$ gdb crash2
Reading symbols from /home/staiano/crash2...done.
(gdb) run
Starting program: /home/staiano/crash2

Program received signal SIGSEGV, Segmentation fault.
0x080483f0 in main () at crash1.c:7
7               z[y]=y/x;
(gdb)
```


Esempio 2: Crash dei programmi (2)

- Un *segmentation fault* è un accesso illegale alla memoria
  - Il programma ha cercato di accedere ad una locazione di memoria che non appartiene al programma
    - Es.: un array ha una dimensione specifica. Se si tenta di accedere alle celle al di fuori delle dimensioni specificate si causa un accesso errato alla memoria
    - Ritornando all'esempio, possiamo chiedere di stampare il valore di y

```
(gdb) display y
1: y = 54389
(gdb)
```


Esempio 3: ciclo infinito

- Quando un programma è in esecuzione per lungo tempo senza visualizzare nulla di nuovo probabilmente è bloccato in un ciclo infinito
  - Il codice che si esegue nel ciclo non causa mai la condizione di uscita del ciclo

```
/* infloop.c */
#include <stdio.h>

int main()
{
int x,y;
for (x=0; x<10; x++)
  {
    y=y+x;
    if (y>10)
       x--;
  }
}
```

Esempio 3: ciclo infinito (2)

```
$ gdb infloop
(gdb) run
Starting program: /home/staiano/infloop
^C
Program received signal SIGINT, Interrupt.
main () at infloop.c:7
7       for (x=0; x<10; x++)
(gdb) display x
1: x = 0
(gdb) next
9           y=y+x;
1: x = 0
(gdb) next
10          if (y>10)
1: x = 0
```


Esempio 3: ciclo infinito (3)

```
(gdb) next
11              x--;
1: x = 0
(gdb)
7       for (x=0; x<10; x++)
1: x = -1
(gdb)
9           y=y+x;
1: x = 0
(gdb)
```

- Dopo aver guardato un'iterazione completa del ciclo, ci accorgiamo che la variabile contatore x ha lo stesso valore (zero) all'inizio di ogni iterazione
  - Non raggiunge mai il valore 10, quindi non termina mai il ciclo
  - Ispezioniamo il codice nel ciclo che coinvolge x e risolviamo il problema

Organizzazione del codice

Programma in un singolo modulo

- Inverte la stringa data come argomento ...

```
/* REVERSE.c */
#include <stdio.h>
#include <string.h>

/* Prototipo della funzione */
void reverse ( char *, char * );

int main (int argc, char *argv[]) {
/* Buffer per la stringa invertita */
char str [strlen(argv[1])+1];

/* Inverte la stringa in ingresso */
reverse (argv[1], str);

/* Mostra il risultato */
printf ("reverse (\"%s\") = %s\n", argv[1], str);
return 0;
}
```

Programma in un singolo modulo (2)

```
void reverse ( char *before, char *after ) {
       /* before: puntatore alla stringa originaria */
       /* after: puntatore alla stringa invertita */

int i, j, len;
len = strlen (before);
for (j=len-1, i=0; j>=0; j--, i++) /* Ciclo */
after[i] = before[j];
after[len] = '\0';    /* \0 termina la stringa invertita */
}
```


Programma in un singolo modulo: problemi

- Realizzare un intero programma come un singolo modulo presenta vari inconvenienti:
  - Ogni (minima) modifica richiede la ricompilazione dell'intero programma
    - tempi di compilazione elevati !!
  - Non è facile riutilizzare funzioni (di utilità generale) definite nel programma (es. **reverse()**)
  - Nota: Per il secondo problema un semplice “cut&paste” delle funzioni è una pessima soluzione per
    - manutenzione: ogni operazione di aggiornamento (es. sostituzione del codice della funzione con uno più efficiente) su ogni copia!
    - efficienza: il cut&paste è lento e ciascuna copia della funzione occupa spazio disco

Suddivisione in più moduli

- Un programma C complesso è normalmente articolato in più file sorgenti
  - compilati indipendentemente
  - collegati in un unico eseguibile
- Risolve i problemi menzionati precedentemente
  - Uno stesso file può essere utilizzato da diversi programmi (funzioni riusabili)
  - La rigenerazione di un eseguibile richiede la ricompilazione dei soli file sorgente modificati ed il linking

Suddivisione in più moduli (2)

- In un programma diviso in più moduli sorgente
  - se un file sorgente utilizza una funzione, non definita nello stesso file, deve contenere la dichiarazione del prototipo della funzione
    - Es: per utilizzare **reverse()** occorre dichiarare

      ```
      void reverse(char *, char *)
      ```
- direttive per il pre-processore / definizioni di tipo devono essere presenti in ogni file che le utilizza
  - Es. (non legate all'esempio)
    - `#define MAX_REVERSABLE 255`
    - `typedef char MyString[MAX_REVERSABLE]`

Suddivisione in più moduli (3)

- Per rendere un modulo **modulo.c** facilmente riusabile si predispone un header file (file di intestazione) **modulo.h** contenente:
  - direttive, definizioni di tipo
  - prototipi delle funzioni definite
- Il file modulo **modulo.c** include il proprio header

```
#include "modulo.h"
```

- Ogni file che utilizza il modulo ne include l'header

```
#include "modulo.h"
```


Suddivisione in più moduli (4)

- Ogni file sorgente può essere compilato separatamente

```
gcc -c modulo.c
```

- La compilazione produce il file oggetto modulo.o che contiene
  - codice macchina
  - tabella dei simboli
- La tabella dei simboli permette di ricombinare (tramite il compilatore **gcc** o il loader **ld**) il codice macchina con quello di altri moduli oggetto per ottenere file eseguibili

Suddivisione in più moduli: esempio

```
/* reverse.h */

/* Prototipo della funzione reverse */
void reverse (char *, char *);

/* reverse.c */
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "reverse.h"

/*********************************************************/
void reverse ( char *before, char *after ) {
      /* before: puntatore alla stringa originaria */
      /* after: puntatore alla stringa invertita */
int i, j, len;
len = strlen (before);
for (j=len-1, i=0; j>=0; j--, i++) /* Ciclo */
after[i] = before[j];
after[len] = '\0';    /* \0 termina la stringa invertita */
}
```


Suddivisione in più moduli: esempio (2)

```
/* usaRev.c */
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "reverse.h"  /* contiene il prototipo di reverse */

/*********************************************************/
int main (int argc, char *argv[]) {
/* Buffer per la stringa invertita */
char str[strlen(argv[1])+1];
/* Inverte la stringa in ingresso */
reverse (argv[1], str);
/* Mostra il risultato */
printf ("reverse (\"%s\") = %s\n", argv[1], str);
return 0;
}
```

Compilazione separata

- Con l'opzione **-c** ...

  $ gcc -c reverse.c

  $ gcc -c usaRev.c

  si generano i file oggetto **reverse.o e usaRev.o**

```
$ ls -l
 -rw-r--r-- 1 staiano staiano 517 Apr 27 11:07 usaRev.c
 -rw-r--r-- 1 staiano staiano 1056 Apr 27 11:16 usaRev.o
 -rw-r--r-- 1 staiano staiano 503 Apr 27 11:14 reverse.c
 -rw-r--r-- 1 staiano staiano 99 Apr 27 11:13 reverse.h
 -rw-r--r-- 1 staiano staiano 884 Apr 27 11:14 reverse.o
```

- Alternativamente, con un solo comando

  $ gcc -c reverse.c usaRev.c

Compilazione separata (2)

- Infine il linking dei file oggetto, risolve i riferimenti incrociati e crea un file eseguibile **usaRev**

```
$ gcc reverse.o usaRev.o -o usaRev
$ls -l usaRev
   -rwxr-xr-x 1 staiano staiano 4325 Apr 27 usaRev
$ ./usaRev gatto
   reverse ("gatto") = ottag
```

- Se volessimo cambiare **reverse.c** dovremmo ricompilare solo questo file e poi rifare il linking

Esempio riutilizzo di reverse()

- Verifica se una stringa è palindroma

```
/* palindroma.h */
int palindroma (char *);

/* palindroma.c */
#include <string.h>
#include "reverse.h"
#include "palindroma.h"
/*********************************************************/
int palindroma (char *str) {
/* Buffer per la stringa invertita */
char revstr [strlen(str)+1];

/* Inverte la stringa in ingresso */
reverse (str, revstr);
/* vero se le stringhe sono uguali */
return !strcmp(str, revstr);
}
```


Esempio riutilizzo di reverse() (2)

- Il main…

```
/* usaPal.c */
#include <stdio.h>
#include "palindroma.h"
/*********************************************************/

int main (int argc, char *argv[]) {
if (palindroma(argv[1]))
printf ("La stringa \"%s\" e` palindroma.\n", argv[1]);
else
printf ("La stringa \"%s\" non e` palindroma.\n", argv[1]);
}
```

Riutilizzo di reverse(): compilazione e linking

```
$ gcc -c palindroma.c
$ gcc -c usaPal.c
$ gcc reverse.o palindroma.o usaPal.o -o usaPal
$ ls -l reverse.o palindroma.o usaPal.o usaPal
-rwxr-xr-x 1 staiano staiano 4596 Apr 27 11:26 usaPal
-rw-r--r-- 1 staiano staiano 1052 Apr 27 11:25 usaPal.o
-rw-r--r-- 1 staiano staiano 892 Apr 27 11:25 palindroma.o
-rw-r--r-- 1 staiano staiano 884 Apr 27 11:14 reverse.o
$ ./usaPal elena
La stringa "elena" non è palindroma
$ ./usaPal anna
La stringa "anna" è palindroma.
```


L'utility make

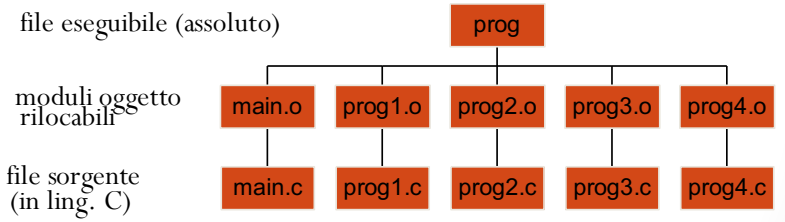
Gestione delle dipendenze

- La ricompilazione di un programma suddiviso in moduli può essere un'operazione laboriosa: si potrebbe predisporre uno script di shell ...

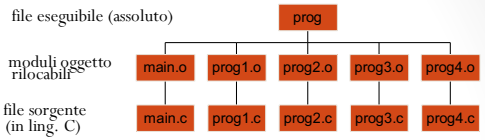
```
#!/bin/bash
if [ reverse.o -ot reverse.c ] ||
   [ reverse.o -ot reverse.h ]; then
   gcc -c reverse.c
fi

if [ palindroma.o -ot palindroma.c ] ||
   [ palindroma.o -ot palindroma.h ] ||
   [ palindroma.o -ot reverse.h ]; then
   gcc -c palindroma.c
...
```


Progetto



Progetto (2)



- Supponiamo che:
  - **main.o** non esista
  - **prog1.o** e **prog4.o** siano antecedenti all'ultima versione di **prog1.c** e **prog4.c**
  - **prog2.o** e **prog3.o** siano relativi all'ultima versione di **prog2.c** e **prog3.c**

```
$ gcc  -c  main.c
$ gcc  -c  prog1.c
$ gcc  -c  prog4.c
$ gcc  -o  prog main.o prog1.o  …  prog4.o
```


Progetto (3)

- Se i sorgenti sono modificati frequentemente, allora
  - controllare se qualche sorgente è stato modificato
  - ricompilare gli eventuali file modificati
  - ricostruire l'eseguibile `prog`

operazioni ripetitive!!!

make informalmente

- Unix mette a disposizione una utility apposita
- Il comando make consente la manutenzione e l'aggiornamento dei programmi

  - controlla se i file sorgenti sono stati modificati dopo l'ultima modifica
  - compila i file sorgenti modificati dopo i corrispondenti file oggetto
  - ricostruisce la versione aggiornata di prog

make formalmente: gestione dipendenze

make [-f makefile]

- Aggiorna un "progetto" sulla base di regole di dipendenza contenute in un file con un formato speciale detto makefile
  - Per default, make si aspetta che le regole di dipendenza si trovino nel file **Makefile** (anche **makefile**)
  - Con l'opzione **-f** si può specificare un makefile diverso (per convenzione con suffisso "**.make**")

Makefile

- Il makefile contiene un insieme di regole/blocchi del tipo:

  targetList: dependencyList
  [TAB] commandList

- dove
  - **targetList** contiene una lista di file target
  - **dependencyList** è una lista di file da cui i file target dipendono
  - **commandList** è una lista di zero o più comandi separati da newline (che "ricostruiscono" i target)
  - ogni riga di **commandList** inizia con un **TAB**!
- All'interno di un makefile, si possono inserire commenti preceduti da **#**

Makefile: esempio

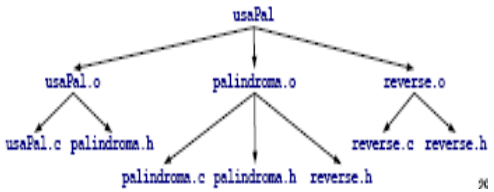
```
# makefile per prog
# versione 1
prog: main.o prog1.o prog2.o prog3.o prog4.o
   gcc -o prog main.o prog1.o … prog4.o
main.o: main.c
   gcc -c main.c
prog1.o: prog1.c
   gcc -c prog1.c
…
prog4.o: prog4.c
   gcc -c prog4.c
```


Regole del makefile

- Una linea di dipendenza definisce la relazione tra un file dipendente o target (a sx del carattere **:**) e uno o più file di dipendenza
- Una linea di comando o regola, definisce le operazioni che make deve effettuare per passare da un file di dipendenza al target
- Una linea di comando del makefile è eseguita se i relativi file di dipendenza sono stati modificati più recentemente dei file dipendenti associati
- Digitando make si ottiene l'esecuzione delle linee di comando relative al primo file dipendente
- Se i file di dipendenza sono superati (non esistono), vengono eseguite anche le linee di comando necessarie al loro aggiornamento (loro creazione)

Make: funzionamento

- Costruisce un albero delle dipendenze esaminando le regole nell'ordine:
  - ogni file nella **targetList** è radice di un albero i cui figli sono i file nella **dependencyList**
- Visita l'albero in profondità ed esegue la **commandList** associata ad un nodo se:
  - la data di ultima modifica di un figlio è più recente di quella del nodo genitore
  - non esiste il file che etichetta il nodo



Make: regole predefinite

- Non sempre è necessario specificare tutte le dipendenze e le regole
  - `make` è in grado di riconoscere le relazioni esistenti tra alcuni file e di applicarvi regole predefinite
  - `make` riconosce i file con il suffisso .c come sorgenti in linguaggio C ed esegue, se necessario, la loro compilazione

```
# makefile di prog
# versione 2
prog: main.o prog1.o … prog4.o
    gcc -o prog main.o …
main.o:  main.c
.
.
prog4.o:  prog4.c
```


Make: regole predefinite (2)

- Se uno dei file oggetto specificati non è aggiornato
  - `make` ricerca nella directory corrente un file sorgente con lo stesso nome e ne avvia la compilazione

```
# makefile di prog
#versione 3

prog: main.o prog1.o … prog4.o
     gcc -o prog main.o …
```


Makefile parametrici

- E' possibile rendere i makefile parametrici impiegando le macro

```
# makefile di prog
# versione 4

OGGETTI = main.o prog1.o …
Prog: $(OGGETTI)
        gcc -o prog  $(OGGETTI)
```

  - Le macro si usano per definire elenchi di file, opzioni dei compilatori, librerie e comandi

Make: macro

- Una macro è un assegnamento di una stringa ad un nome, che da quel momento la rappresenta

  nome = stringa

- Il valore della macro è quindi riferito con

  $(*nome*) oppure **${*nome*}**

- Le macro si utilizzano spesso per definire path di interesse. Es.

  prefix=/usr/local
  bin_prefix=${prefix}/bin

- Possono poi essere personalizzate ...

Esempio: makefile parametrico

```
$ cat makeprova
OGGETTI = qdrig.o pippo.o
OGGETTI1 = qdcol.o pluto.o
MAIN = driver.o
MAIN1 = driver_uno.o
rows:  $(OGGETTI) $(MAIN)
       gcc -o  rows $(OGGETTI)  $(MAIN)
columns:   $(OGGETTI1) $(MAIN1)
    gcc -o columns $(OGGETTI1) $(MAIN1)

$ make -f makeprova rows
gcc -c qdrig.c
gcc -c pippo.c
gcc -c driver.c
gcc -o rows driver.o qdrig.o pippo.o

$ make -f makeprova rows
'rows' is up to date.
```


Make: esempio

- Il makefile per il programma **usaPal** (stringhe palindrome) può essere:

```
# Makefile per usaPal, versione 1

usaPal : usaPal.o palindroma.o reverse.o
           gcc usaPal.o palindroma.o reverse.o -o usaPal

usaPal.o : usaPal.c palindroma.h
              gcc -c usaPal.c

palindroma.o : palindroma.c palindroma.h reverse.h
                     gcc -c palindroma.c

reverse.o : reverse.c reverse.h
                gcc -c reverse.c
```


Regole predefinite: semplificazione

- La presenza delle regole predefinite consente di semplificare il makefile
  - Es. per le stringhe palindrome ...

```
# Makefile per usaPal, versione semplificata

usaPal : usaPal.o palindroma.o reverse.o
        gcc usaPal.o palindroma.o reverse.o -o usaPal
usaPal.o : palindroma.h
palindroma.o : palindroma.h reverse.h
reverse.o : reverse.h
```

  - e anche la parte sottolineata può essere rimossa

Makefile tipico

- Il makefile tipico automatizza le fasi legate alla compilazione ed installazione di un programma
- Si distinguono tre **target** comuni
  - **all**: azione da compiere quando non si indica alcun target (tipicamente la compilazione)
  - **install**: installa l'eseguibile dopo la compilazione
  - **clean**: elimina i file oggetto e binari compilati
- Quindi
  - `$ make`
    richiama il target all e compila il programma
  - `$ make install`
    installa gli eseguibili nella destinazione prevista
  - `$ make clean`
    pulisce la directory utilizzata per la compilazione

Makefile tipico: esempio

- Makefile per creare / installare **usaRev** e **usaPal**

```
# directory destinazione
  prefix=/usr/local
  bindir=${prefix}/bin

all: usaPal usaRev

install:
          cp usaPal usaRev ${bindir}
clean:
          rm *.o usaPal usaRev
usaPal : palindroma.o reverse.o
usaPal.o : palindroma.h
palindroma.o : palindroma.h reverse.h

usaRev : reverse.o
usaRev.o : reverse.h
reverse.o : reverse.h
```


Compressione dei file

Archiviazione dei file

- Il programma di servizio `tar` crea archivi contenenti file e directory
  - È possibile archiviare file, aggiornarli all'interno degli archivi ed aggiungere agli archivi nuovi file quando serve
  - E' stato originariamente progettato per creare archivi su nastro ("tar" sta per "tape archive")
  - In Linux tar viene utilizzato per creare archivi su dispositivi o file
    - si utilizza l'opzione **f** ed il nome del dispositivo o file
    - Quando si crea un archivio tar al nome del file viene assegnata l'estensione .tar
    - Se si specifica il nome di una directory, nell'archivio verranno incluse anche tutte le sue sottodirectory
- Esempio:

```
$ tar opzionif nome-archivio.tar nomi-di-directory-e-file
```


Creazione di un archivio

- Per creare un archivio si usa l'opzione c
  - Insieme all'opzione f crea un archivio su file o dispositivo (è necessario specificare l'opzione c prima di f)
- Esempio
  - La directory mydir e tutte le sue sottodirectory sono salvate nel file myarch.tar

```
$ tar cvf myarch.tar mydir
```

  - Successivamente l'utente potrà estrarre la directory dall'archivio utilizzando l'opzione x
    - L'opzione xf estrae i file da un file o un archivio. L'operazione di estrazione genera tutte le subdirectory archiviate

```
$ tar xvf myarch.tar
```

Compressione e decompressione

- tar è comunemente utilizzato in unione con un'utility esterna di compressione dati, quali ad esempio gzip, bzip2 o, non più in uso, compress
  - tar da solo non ha la capacità di comprimere i file
  - La versione GNU di tar supporta le opzioni a riga di comando z (gzip), j (bzip2), e Z (compress), che abilitano la compressione per il file che viene creato in un unico passo

Esempi

- Per archiviare e comprimere in due passi:

```
tar cf nome_tarball.tar file_da_archiviare1
  file_da_archiviare2 ...
gzip nome_tarball.tar
```

- Per vedere il contenuto di un archivio .tar.gz: `tar tvf nome_tarball.tar.gz`
- Per estrarre i file dall'archivio
  - Semplice file di tar: `tar xf nome_tarball.tar`
  - File compresso (un passaggio alla volta):

```
gunzip nome_tarball.tar.gz
tar xf nome_tarball.tar
```

- Per utilizzare bzip2 invece di gzip, è sufficiente sostituire con bzip2 dove viene utilizzato gzip e con bunzip2 dove viene usato gunzip nelle varie righe di comando

Compressione e decompressione

- Utilizzando il flag della compressione previsto per il tar di GNU:
  - Per comprimere:
    - Utilizzando **gzip**: `tar czf nome_tarball.tgz file_da_archiviare1 file_da_archiviare2 ...`
    - Utilizzando **bzip2**: `tar cjf nome_tarball.tbz2 file_da_archiviare1 file_da_archiviare2 ...`
    - Utilizzando **compress**: `tar cZf nome_tarball.tar.Z file_da_archiviare1 file_da_archiviare2`
  - Per decomprimere ed estrarre i file dall'archivio:
    - Archivio compresso con **gzip**: `tar xzf nome_tarball.tar.gz`
    - Archivio compresso con **bzip2**: `tar xjf nome_tarball.tar.bz2`
    - Archivio compresso con **compress**: `tar xZf nome_tarball.tar.Z`

Compilare i sorgenti del libro (Stevens)

- Scaricare il software (src.tar.gz) dal sito:
  http://www.apuebook.com/
- Decomprimere il file in una cartella di lavoro (il contenuto è la cartella apue.2e). Ad esempio:
  /home/username/programmi/apue.2e
- Modificare il file Make.defines.linux
- Compilare tutti i sorgenti digitando make al prompt della shell

```
$ make
```

Modificare il contenuto di Make.defines.linux

```
# Common make definitions, customized for each platform
# Definitions required in all program directories to compile and link
# C programs using gcc.
WKDIR=/home/sar/apue.2e
CC=gcc
COMPILE.c=$(CC) $(CFLAGS) $(CPPFLAGS) -c
LINK.c=$(CC) $(CFLAGS) $(CPPFLAGS) $(LDDIR) $(LDFLAGS)
LDDIR=-L../lib
LDLIBS=../lib/libapue.a $(EXTRALIBS)
CFLAGS=-DLINUX -ansi -I$(WKDIR)/include -Wall -D_GNU_SOURCE
   $(EXTRA)

# Our library that almost every program needs.
LIB=../libapue.a

# Common temp files to delete from each directory.
TEMPFILES=core core.* *.o temp.* *.out typescript*
```

Modificare inserendo la directory di lavoro, ovvero la directory dove avete decompresso i sorgenti. Ad esempio, /home/username/programmi/apue.2e

File header (apue.h) e di libreria (libapue.a)

- Per esercitarsi con i singoli programmi:
  - copiate il file **libapue.a**, che trovate in **…/apue.2e/lib**, in **/usr/lib**
  - Copiate **apue.h** in **/usr/include**
- Il file libapue.a è la libreria creata in fase di compilazione con make, che deve essere linkata ogni qualvolta si compilano i file sorgenti
- L'header apue.h contiene molti degli header necessari per eseguire i programmi descritti nel libro, più un insieme di prototipi di funzione e definizioni di costanti