

Sistemi Operativi

Unità 4: Il File System

I file

Martino Trevisan
Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Argomenti

1. Funzioni di libreria per file
2. System Call per file
3. Funzioni di libreria vs System Call
4. Comandi Bash per File

Funzioni di libreria per file

Funzioni di libreria per file

Abbiamo già visto le funzioni di libreria più comuni per leggere su file.

Esse sono parte della `libc`.

- Sono utilizzabili su qualsiasi SO
- E' sufficiente ricompilare il programma
- Utilizzano System Call diverse a seconda del SO

Funzioni di libreria per file

Funzioni principali:

- Puntatore a file: `FILE *`
- Apertura/chiusura: `fopen` `fclose`
- Lettura/scrittura di caratteri: `fgetc` , `fputc`
- Lettura/scrittura di righe: `fgets` , `fputs`
- Lettura/scrittura con formato: `fscanf` , `fgets`
- Lettura/scrittura grezza `fread` , `fwrite`
- Riposizionamento: `fseek` , `rewind` , `ftell`

Funzioni di libreria per file

Esempio: si legga un path da tastiera e se ne stampi il contenuto come file di testo

```
#include <stdio.h>

int main ()
{
    char s[100], buffer [100];
    FILE * f;

    printf("Inserisci un path: ");
    scanf("%s", s);

    f = fopen(s, "r");
    if (f==NULL){
        printf("Impossibile aprire %s\n", s);
        return 1; /* Errore */
    }

    /* Non è importante la lunghezza di buffer */
    while ( fgets(buffer, 100, f) )
        fputs(buffer, stdout); // Equivale a printf("%s", s);

    fclose(f);
    return 0;
}
```

Funzioni di libreria per file

La lettura/scrittura su file è **sequenziale**.

Un file aperto ha un **cursore** simile a quello di un editor testuale

- Determina la posizione di partenza per la prossima operazione
- Esso è posizionato a un **offset** preciso all'interno del file
- Una lettura sposta in avanti il cursore dei caratteri letti
- Una scrittura inserisce i caratteri nella posizione del cursore

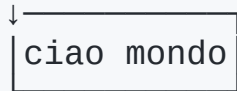
Esistono delle funzioni per spostare arbitrariamente il cursore.

Funzioni di libreria per file

Consideriamo un file 10 caratteri contenente la frase `ciao mondo` . Viene aperto con:

```
FILE * fp = fopen("ciao.txt", "r");
```

Il cursore a questo punto è all'inizio del file.

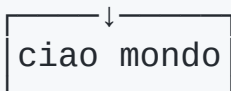


A rectangular box contains the text "ciao mondo". A small downward-pointing arrow is positioned at the very beginning of the box, indicating the current position of the file cursor.

Effettuando una lettura con la `fscanf` si legge una parola (spazio finale incluso).

```
fscanf(fp, "%s", buffer);
```

Il cursore sarà quindi all'inizio della parola successiva. Una successiva `fscanf` leggerebbe `mondo`



A rectangular box contains the text "ciao mondo". A small downward-pointing arrow is positioned between the word "ciao" and the word "mondo", indicating the current position of the file cursor after the first read operation.

Funzioni di libreria per file

E' possibile spostare manualmente il cursore con la funzione

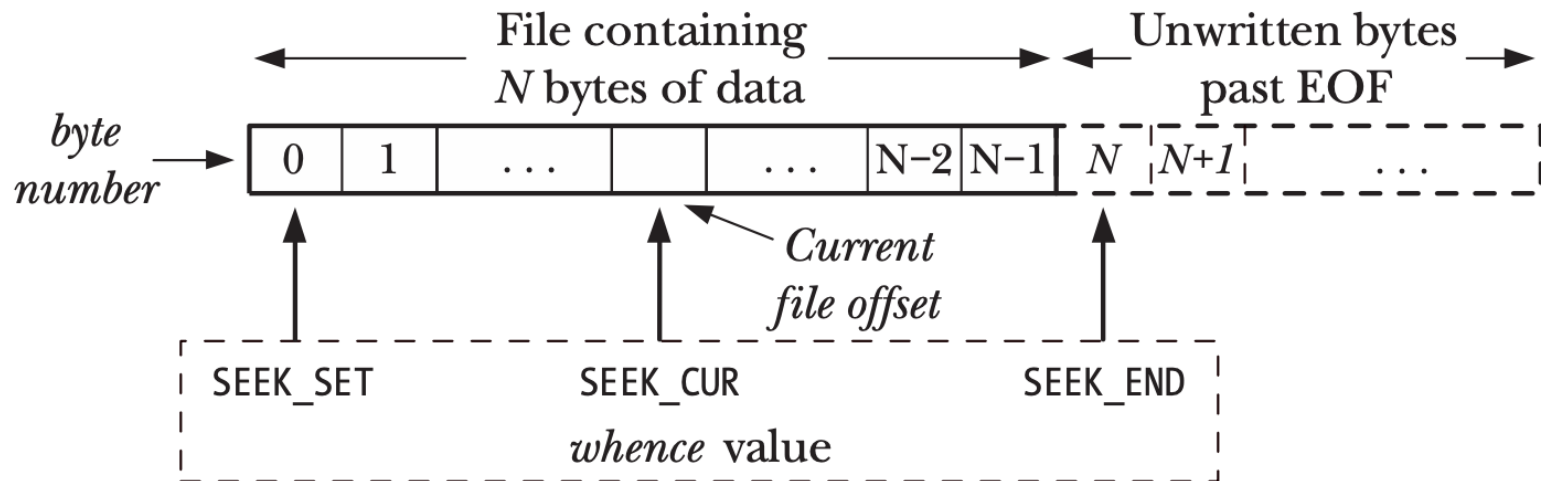
```
int fseek(FILE *fp, long distanza, int partenza)
```

Dove:

- `FILE *fp` : è il puntatore a file sul quale agire
- `long distanza` : è il nuovo offset.
- `int partenza` o `whence` indica da dove `distanza` viene calcolata. Può assumere
 - `SEEK_SET` : inizio del file
 - `SEEK_END` : fine del file
 - `SEEK_CUR` : posizione corrente del cursore

Funzioni di libreria per file

Funzionamento di `fseek`



Posizione del cursore

Per sapere in che posizione è il cursore:

```
long ftell(FILE *stream);
```

Funzioni di libreria per file

Consideriamo un file 10 caratteri contenente la frase

ciao mondo .

```
FILE * fp = fopen("ciao.txt", "r");  
fscanf(fp, "%s", buffer); // Buffer contiene "ciao". Il cursore è prima di "mondo"  
  
fseek (fp, 0, SEEK_SET); // Il cursore torna all'inizio del file  
fscanf(fp, "%s", buffer); // Leggo di nuovo "ciao"
```

Similmente:

```
FILE * fp = fopen("ciao.txt", "r");  
fgets(buffer, 2, fp); // Buffer contiene "ci". Il cursore è tra "ci" e "ao mondo"  
fseek (fp, -3, SEEK_END); // Il cursore si posiziona tra "ciao mo" "ndo"  
fgets(buffer, 2, fp); // Leggo "nd"
```

Funzioni di libreria per file

Funzioni `fread` e `fwrite`

Simili a `fgets` e `fputs`, ma per file binari.

- Ignorano il ritorno a capo `\n`.
- Leggono/scrivono una quantità fissa di byte
- Ottime per file binari: contengono caratteri non stampabili, e anche tanti `'\0'` (terminatori).
 - Impossibile leggere correttamente i terminatori.

```
size_t fread(void *restrict ptr, size_t size, size_t nmemb,  
              FILE *restrict stream);  
size_t fwrite(const void *restrict ptr, size_t size, size_t nmemb,  
              FILE *restrict stream);
```

Funzioni di libreria per file

Funzioni `fread` e `fwrite`

Permettono di leggere/scrivere file binari (che contengono `'\0'`).

- Oppure `int` , `float` , `struct` e vettori

Funzionamento: leggi/scrivi nella `nmemb` oggetti, ognuno grande `size` byte dal puntatore a file `stream` e scrivilo/leggi da `ptr` .

Valore di ritorno: il numero di elementi effettivamente letti/scritti.

Funzioni di libreria per file

Lettura di un vettore di interi.

Si supponga un file contente (in binario) i 2 interi che rappresentano i numeri 1990 e 2023.

In esadecimale e considerando `int` su 4 byte, avremo nel file:

```
0x00 0x00 0x07 0xC6 0x00 0x00 0x07 0xE7
```

Suggerimento: crea il file con `echo -n -e`

```
'\x00\x00\x07\xC6\x00\x00\x07\xE7' > ciao.txt
```

Per leggerli in C, si procede con la funzione `fread`

```
FILE * fp = fopen("ciao.txt", "rb"); // Notare modalità "rb"
int v [2];
fread(v, sizeof(int), 2, fp);
```

Nota: è errato usare `fscanf(..., "%d", ...)` che si aspetta dei numeri scritti come stringhe!

Funzioni di libreria per file

Osservazioni dall'esempio precedente:

- `size_t` è un alias per il tipo di dato *intero senza segno* che viene usato per rappresentare grandezze di strutture dati.
- `sizeof` è un operatore che ritorna il numero di byte che un tipo di dato occupa
 - Durante la **compilazione**, il compilatore sostituisce l'espressione col suo risultato

Funzioni di libreria per file

Bufferizzazione:

In C, l'input/output su file è **bufferizzato**

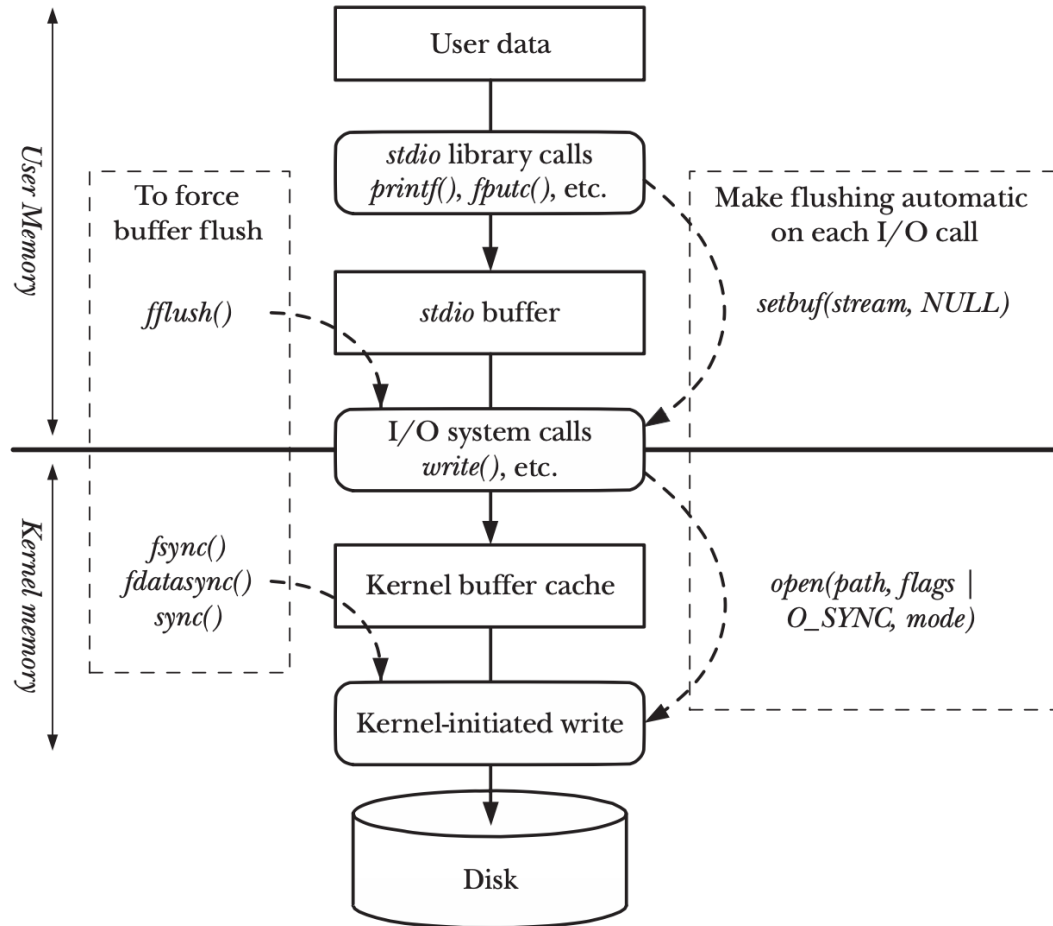
- Le funzioni di scrittura come `fprintf` non invocano sempre la System Call per la scrittura su file
- Esse scrivono su un buffer in memoria
- Quando esso è pieno, il contenuto è effettivamente scritto su file

Questo comportamento migliora significativamente le prestazioni in caso di tante scritture di piccole dimensioni

- Bisognerebbe accedere al disco ad ogni operazione

Funzioni di libreria per file

Bufferizzazione:



Funzioni di libreria per file

Bufferizzazione:

La dimensione di default è la costante `BUFSIZ`.

E' possibile settare la dimensione del buffer:

```
void setbuf(FILE *stream, char *buf);
```

Si può forzare una scrittura su file:

```
int fflush(FILE *stream);
```

Nota: quando lo standard output è su console esso è *new line-buffered*. Un ritorno a capo, forza il *flush*.

Per rendere uno stream *new line-buffered* si usa la funzione `setvbuf`.

Funzioni di libreria per file

Rimozione:

```
int remove(const char *pathname);
```

Non é necessario che il file sia aperto.

In Linux, `remove()` usa la System Call:

```
int unlink(const char *pathname);
```

System Call per file

System Call per file

Le funzioni viste precedentemente sono parte della libreria standard del C.

- Esse utilizzano delle System Call per compiere le operazioni richieste
- Le System Call variano a seconda del SO

System Call usate

- Linux/POSIX: `open`, `read`, `write`, `lseek`, `close`
- Windows: `CreateFile`, `WriteFile`, `ReadFile`, `CloseHandle`, `SetFilePointer`

System Call per file

Noi ci soffermiamo sulle System Call di Linux, usabili includendo `<unistd.h>`.

- Esse sono simili alle funzioni di libreria, ma sono di più basso livello.
- Si possono usare su sistemi Linux e Posix
- Non esistono su Windows. Non sono parte di Libreria Standard del C

System calls	Library functions
file descriptor (<i>int</i>)	file stream (<i>FILE *</i>)
<i>open()</i> , <i>close()</i>	<i>fopen()</i> , <i>fclose()</i>
<i>lseek()</i>	<i>fseek()</i> , <i>ftell()</i>
<i>read()</i>	<i>fgets()</i> , <i>fscanf()</i> , <i>fread()</i> ...
<i>write()</i>	<i>fputs()</i> , <i>fprintf()</i> , <i>fwrite()</i> , ...
–	<i>feof()</i> , <i>ferror()</i>

System Call per file

In Linux, un file aperto è identificato da un *file descriptor*.

Esso è un numero intero non negativo

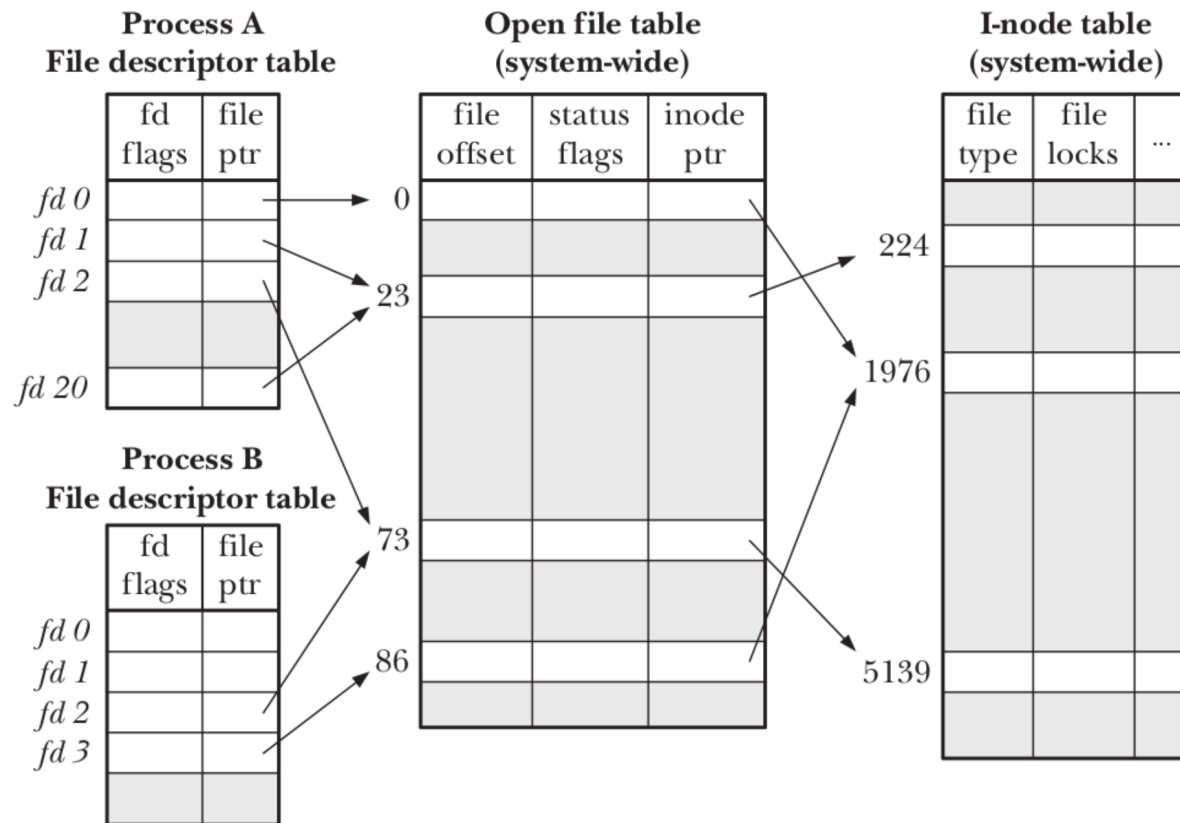
Per convenzione:

- Standard Input: descrittore 0
- Standard Output: descrittore 1
- Standard Error: descrittore 2

Nelle funzioni di libreria un file aperto è un `FILE *`. Nelle System Call Linux è un `int`.

System Call per file

Il sistema operativo mantiene delle tabelle che mappano i *file descriptor* ai file fisici su disco (inode)



System Call per file

Per ogni processo, vi è una tabella che contiene i *file descriptor*:

- Contiene un riferimento alla tabella generale
- E dei flag

La tabella generale (una per tutto il SO), contiene:

- Access Mode: R, W, RW
- File Offset: posizione del cursore

La tabella degli inode è semplicemente una copia in memoria degli inode interessati (che si trovano su disco)

System Call per file

Apertura di un file

```
int open(const char *pathname, int flags);  
int open(const char *pathname, int flags, mode_t mode);
```

Apre il file identificato dal path `pathname` .

System Call per file

Apertura di un file

`flags` determinano modalità di accesso al file.

- Uno tra `O_RDONLY`, `O_WRONLY`, e `O_RDWR` deve essere obbligatoriamente presente.
 - Altri flag sono:
 - `O_CREAT` crea il file se non esiste
 - `O_APPEND` apri il file in modalità aggiunta
- I flag si sommano usando l'operatore OR bit a bit `|`

Esempi:

```
int fd = open("file.txt", O_RDONLY);  
int fd = open("file.txt", O_WRONLY | O_APPEND);
```

System Call per file

Apertura di un file

```
int open(const char *pathname, int flags, mode_t mode);
```

Nel caso si specifichi il flag `O_CREAT`, il file viene creato coi permessi specificati in `mode`.

Esistono 9 flag:

- `S_IRWXUSR`, `S_IRWXGRP`, `S_IRWXOTH`

Ricordiamoci che in Linux i file hanno 3 tipi di permessi (Read, Write, Execute), gestibili separatamente per il proprietario, il gruppo e gli altri utenti.

System Call per file

Chiusura di un file:

```
int close(int fd);
```

Chiude il *file descriptor*. Il numero `fd` non si riferisce più a nessun file aperto e può essere riutilizzato in successive `open` da parte del SO.

System Call per file

Lettura da file:

```
ssize_t read(int fd, void *buf, size_t count);
```

Leggi `count` byte da `fd` e mettili nella memoria all'indirizzo `buf`.

Valore di ritorno: il numero di byte letti. Può essere minore di `count` se il file finisce.

- In caso di errore -1
- Se si è giunti a EOF 0

System Call per file

Scrittura su file:

```
ssize_t write(int fd, const void *buf, size_t count);
```

Scrivi `count` byte su `fd` e prendendoli nella memoria all'indirizzo `buf`.

Valore di ritorno: il numero di byte scritti. Può essere inferiore a `count` se il disco si riempie.

- In caso di errore `-1`

System Call per file

Riposizionamento Cursore:

```
off_t lseek(int fd, off_t offset, int whence);
```

Molto simile alla funzione di libreria `fseek`.

Riposizione il file descriptor `fd` all'offset `offset` secondo la direttiva `whence` come segue:

- `SEEK_SET` : `offset` è rispetto a inizio file
- `SEEK_CUR` : `offset` è rispetto a posizione corrente
- `SEEK_END` : `offset` è rispetto a file file. `offset` dovrà essere negativo

System Call per file

Esempio: scrittura utilizzando System Call

```
const char *str = "Arbitrary string to be written to a file.\n";
const char* filename = "innn.txt";

int fd = open(filename, O_RDWR | O_CREAT);
if (fd == -1) {
    perror("open");
    exit(EXIT_FAILURE);
}

write(fd, str, strlen(str));
printf("Done Writing!\n");

close(fd);
```

System Call per file

Esempio: equivalente usando funzioni di libreria

```
const char *str = "Arbitrary string to be written to a file.\n";
const char* filename = "innn.txt";

FILE* output_file = fopen(filename, "w+");
if (!output_file) {
    perror("fopen");
    exit(EXIT_FAILURE);
}

fwrite(str, 1, strlen(str), output_file); // Si può usare fputs o fprintf
printf("Done Writing!\n");

fclose(output_file);
```

System Call per file

Esempio: sono equivalenti le seguenti forme per stampare il messaggio `Hello World` su console.

Usando la `printf` si stampa su Standard Output.

```
printf("Hello World\n");
```

Si può usare la `fprintf` dicendole di stampare sul file `stdout`, che è un `FILE *` pre-definito.

```
fprintf(stdout, "Hello World\n");
```

Si può usare la System Call `write` (solo su Linux/POSIX).

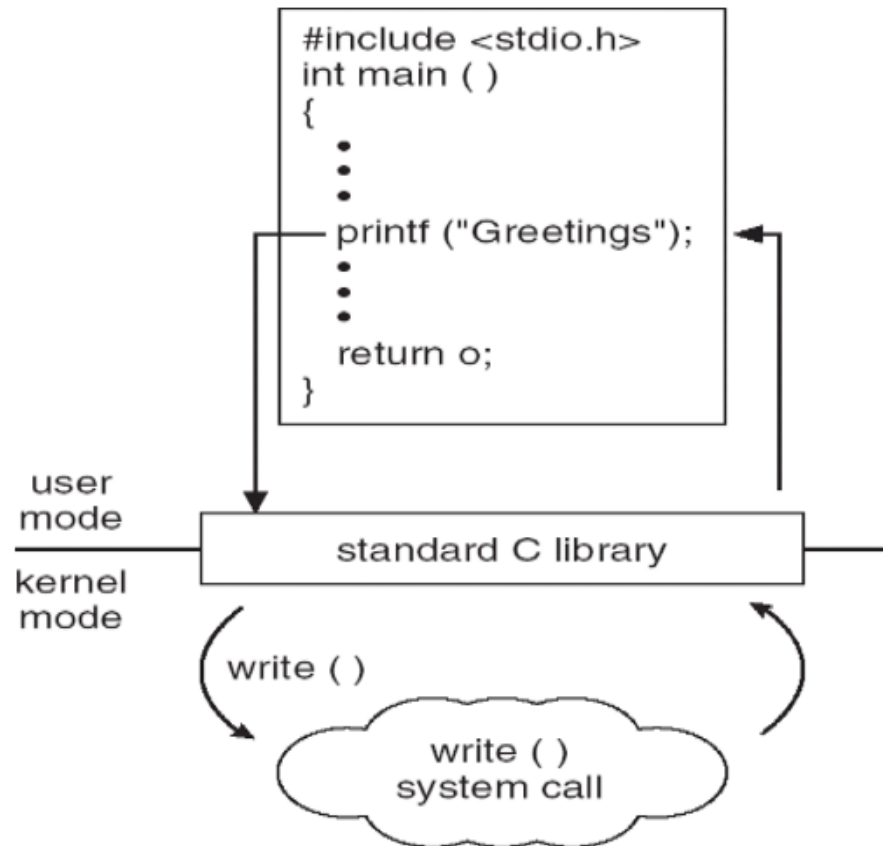
- Si stampa sul file descriptor `1`, per convenzione lo Standard Output
- E' necessario specificare quanti byte scrivere. `write` stampa dei byte, non utilizza il terminatore `'\0'` (valore `0`)

```
write(1, "Hello World\n", 13);
```

Funzioni di libreria vs System Call

Funzioni di libreria vs System Call

Le funzioni di libreria utilizzando le System Call



Funzioni di libreria vs System Call

Le **Funzioni di Libreria** sono eseguite in modalità utente. Non hanno nessun privilegio particolare.

- Sono semplicemente delle funzioni che facilitano l'uso delle System Call

Le **System Call** sono eseguite in modalità kernel.

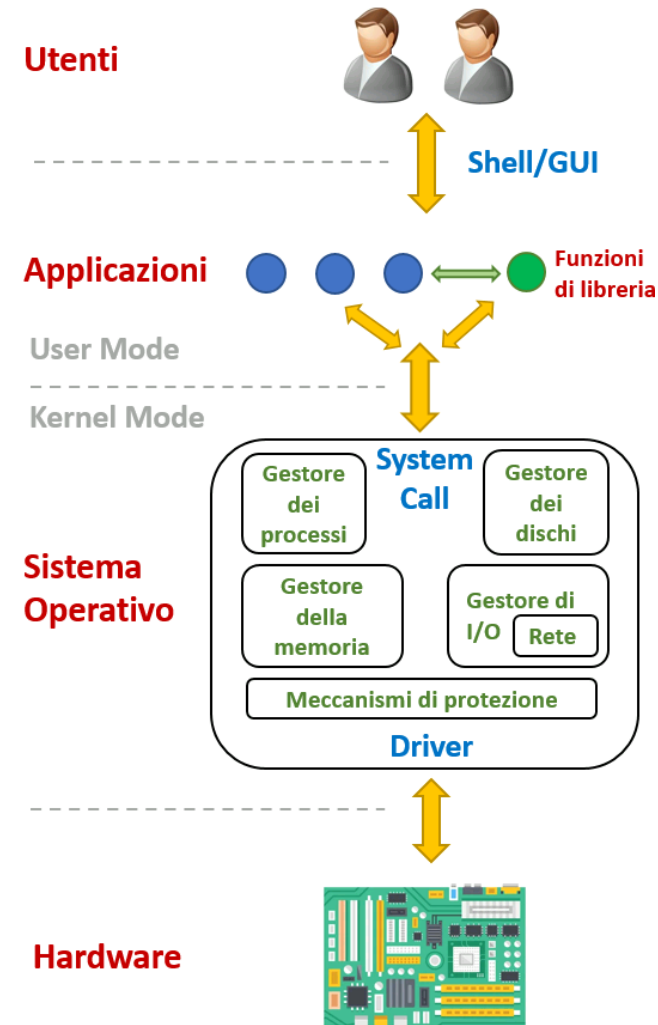
- Hanno accesso alla *memoria fisica*
- Possono accedere alle interfacce dei dispositivi di I/O

Funzioni di libreria vs System Call

Le **Applicazioni** possono invocare sia funzioni di libreria che System Call.

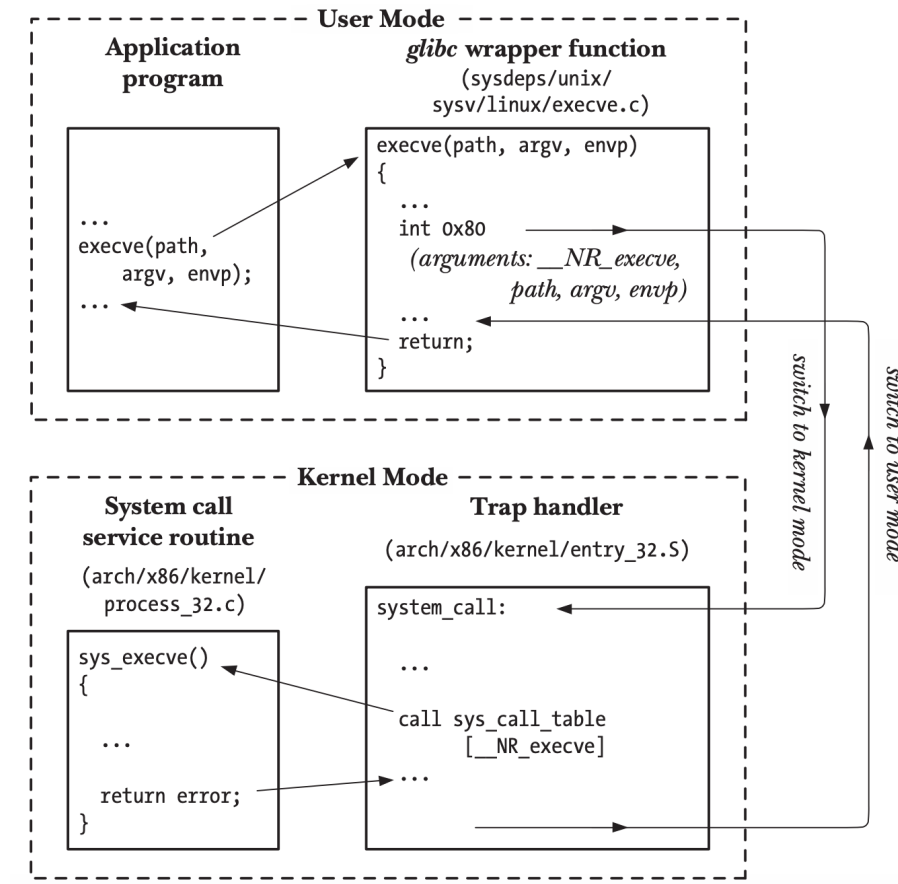
Se vogliono usufruire dei servizi del SO è sempre necessario usare le system call

- Lo fanno le applicazioni direttamente
- Oppure lo fanno le funzioni di libreria invocate dalle applicazioni



Funzioni di libreria vs System Call

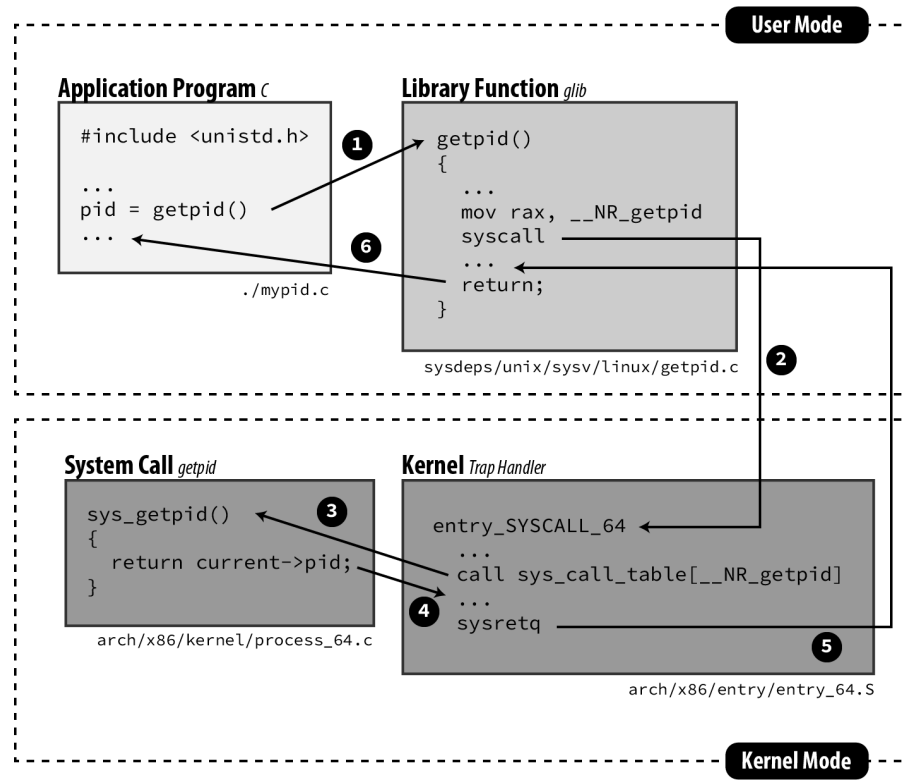
Passi per l'invocazione di una System Call Tramite `int`
`0x80` (metodo classico)



Funzioni di libreria vs System Call

Passi per l'invocazione di una System Call Tramite

`syscall` (metodo moderno)



Funzioni di libreria vs System Call

Manuale:

Il manuale di Linux è diviso in sezioni:

1. User Commands
2. System Calls
3. C Library Functions
4. Devices and Special Files
- ...

La `fopen` è in sezione 3, la `open` in sezione 2.

Invece `printf` è sia un comando bash che una funzione di libreria

- Ha due pagine di manuale
 - `man 1 printf` : comando Bash
 - `man 3 printf` : funzione di libreria C

Funzioni di libreria vs System Call

Esistono degli strumenti di debug per vedere quali System Call vengono invocate da un processo.

Si può fare tramite profile (e.g., `valgrind`), debugger (e.g., `gdb`) o tool nativi (e.g., `strace`)

`strace`

Non richiede di ricompilare i programmi. Funziona sempre, anche se non ho il sorgente del programma.

E' un tool del SO.

Funzionamento: `strace comando`

Funzioni di libreria vs System Call

Esempio: Di default `strace` lista le system call

```
$ strace pwd
execve("/usr/bin/pwd", ["pwd"], 0x7ffd37cdfc80 /* 72 vars */)      = 0
...
getcwd("/tmp", 4096)                                              = 5
fstat(1, {st_mode=S_IFCHR|0620, st_rdev=makedev(0x88, 0x5), ...}) = 0
write(1, "/tmp\n", 5/tmp)                                         = 5
```

Si può semplicemente contare le invocazioni a System Call

```
$ strace -c date
mar 25 ott 2022, 10:16:48, CEST
% time      seconds  usecs/call      calls      errors  syscall
-----
  0,00      0,000000          0          6          read
  0,00      0,000000          0          1        write
  0,00      0,000000          0          9        close
  ...      ...
```

Funzioni di libreria vs System Call

`ltrace`

Simile a `strace`. Permette di visualizzare le funzioni di libreria usate da un processo

Funzionamento: `ltrace comando`

Nota: non funziona su tutti gli eseguibili.

Solo quelli compilati con *laxy binding* (opzione del linker), di default fino a Ubuntu 16.

Per essere sicuri, compilare con l'opzione: `-z lazy`

Esempio: `gcc sample.c -o myprog -z lazy`

Funzioni di libreria vs System Call

Esempio: Di default `ltrace` lista le invocazioni a funzione

```
$ ltrace pwd
...
getcwd(0, 0)                                = ""
puts("/home/det_user/trevisan"/home/det_user/trevisan
)                                           = 24
...
```

Per contare le funzioni invocate:

```
$ ltrace -c date
Tue Oct 25 10:35:00 CEST 2022
% time      seconds  usecs/call      calls      function
-----
15.59      0.000543         67          8 fwrite
13.90      0.000484         60          8 fputc
 8.76      0.000305        305          1 setlocale
...
```

Comandi Bash per File

Comandi Bash per File

I SO Linux/Posix hanno dei programmi pre-installati per gestire i file

Sono delle *utility* che permettono di svolgere compiti semplici e ripetitivi da riga di comando

Senza dover scrivere un programma apposito che chiami le System Call o Funzioni di Libreria necessarie.

Documentati nella sezione 1 di `man`

Comandi Bash per File

Lettura di file:

- `cat filename` : stampa su Standard Output il contenuto di un file
- `less filename` e `more filename` : visualizzazione passo-passo
- `head filename` e `tail filename` : stampa prime/ultime righe di un file
- `grep pattern file` : stampa delle righe che contengono un `pattern`

Comandi Bash per File

Scrittura di file:

Per scrivere su file si usa tipicamente la redirectione su file della Bash:

```
echo "Ciao" > filename
```

Con `touch filename` creo un file se non esiste

Rimozione di file:

- `rm filename`: rimuove un file (se ho i permessi per farlo)

Comandi Bash per File

Altre operazioni:

- `cp origine destinazione` : copia un file
- `chmod, chgrp, chown` : modificano permessi, gruppo e proprietario di un file

Domande

La `fopen` é:

- Una funzione di libreria
- Una System Call
- Una struct

La `read` é:

- Una funzione di libreria
- Una System Call
- Una struct

Si consideri il file `f.txt` contenente il testo `frase di prova`.

Dove si trova il cursore (↓) del file dopo il seguente codice?

```
FILE * fp = fopen("f.txt", "r");  
fscanf(fp, "%s", buffer);  
fseek (fp, 3, SEEK_CUR);
```

- frase di prova
- frase di ↓prova
- frase di pr↓ova
-

frase ↓di prova

Domande

Quale delle seguenti linee di codice é corretta?

- `int fd = open("file.txt", O_RDONLY);`
- `FILE * fd = open("file.txt", O_RDONLY);`
- `FILE * fd = fopen("file.txt", O_RDONLY);`
- `FILE fd = open("file.txt", "rw");`

Quale relazione c'è tra la `fprintf` e `write` ?

- `fprintf` é una funzione di libreria e usa la SysCall `write`
- `write` é una funzione di libreria e usa la SysCall `fprintf`
- `fprintf` e `write` sono due funzioni di libreria
- `fprintf` e `write` sono due System Call

Quale dei seguenti comandi stampa a schermo il contenuto del file `test` ?

- `echo ciao`
- `print ciao`
- `cat ciao`