

LabSO 2025

Laboratorio Sistemi Operativi - Unitn A.A. 2024-2025

Michele Grisafi - michele.grisafi@unitn.it

Il corso

Requisiti

- Uso basilare Linux da shell
- Utilizzo editor per codice
- Conoscenza fondamentali file-system (file, cartelle, permessi) e processi
- Teoria di *Sistemi Operativi*

Obiettivo

Dimestichezza nell'ideazione e realizzazione di applicazioni scritte in C che utilizzino processi e meccanismi di IPC per la comunicazione. Dimestichezza nell'uso di un sistema linux.

Note:

Terminologia e contenuti sono contestualizzati al corso: eventuali approssimazioni o semplificazioni di contenuti e significati sono legati a tale scopo (e quindi i concetti non sono da considerarsi esaustivi in senso assoluto). Alcuni concetti sono solo toccati marginalmente e/o descritti nel momento che si incontrano

Corso

Presentazione contenuti principalmente tramite “slides” commentate direttamente con esposizione concetti.

- Punti fondamentali
- Semplici schematizzazioni / grafici
- Snippet di codice

* Il codice riportato nelle slide potrebbe contenere piccoli errori e non è da considerarsi sempre completo.

Esame

- Esercizio di programmazione
- 5 appelli:
 - 2 in Giugno/Luglio
 - 1 a Settembre
 - 2 a Gennaio/Febbraio

Lo studente passa il corso se ottiene 18 sia a Teoria che a Laboratorio. Non passare uno dei due appelli (teoria e pratica) comporterà il fallimento anche dell'altro esame

Argomenti (date indicative)

- 03/03 - Usare un ambiente linux: **terminal** and **bash**.
- 10/03 - Eseguire e compilare su Linux: **Docker**, **GCC** and **Makefile**.
- 17/03 - **Le basi di C**.
- 24/03 - Interazione con i file: **streams** and **file descriptors**.
- 31/03 - Comunicazione con il kernel e processi: **system calls** e **forking**.
- 07/04 - Inter-Process-Communication: **signals**.
- 14/04 - **Process Groups** ed esercitazione.
- 28/04 - IPC: **pipes** e **fifos**.
- 05/05 - IPC: **message queues**.
- 12/05 - Gestire lavori multipli e la concorrenza: **threads** and **mutexes**.
- 19/05 - **System auditing** ed esercitazione
- 26/05 - Esercitazione/simulazione

Terminale & bash

Terminale

Il terminale è l'ambiente testuale di interazione con il sistema operativo.

Tipicamente è utilizzato come applicazione all'interno dell'ambiente grafico ed è possibile avviarne più istanze. In alternativa, è anche disponibile direttamente all'avvio del sistema, normalmente in più istanze accessibili con la combinazione CTRL+ALT+Fx.

Shell

All'interno del terminale, l'interazione avviene utilizzando un'applicazione specifica in esecuzione al suo interno, comunemente detta **SHELL**.

Essa propone un prompt per l'immissione diretta di comandi da tastiera e fornisce un feedback testuale. È anche possibile eseguire sequenze di comandi preorganizzate contenute in file testuali (*script* o *batch*). A seconda della modalità alcuni comandi possono avere senso o meno, o comportarsi in modo particolare.

L'insieme dei comandi e delle regole di composizione costituisce un linguaggio di programmazione orientato allo scripting.

La nostra shell: bash

Esistono numerose shell, come zsh, ksh, sh. **Bash** è una delle più utilizzate e molte sono comunque simili tra loro, ma hanno sempre qualche differenza (e anche comandi analoghi possono avere opzioni o comportamenti non identici).

Tipicamente - almeno in sessioni non grafiche - al login un utente ha associata una shell particolare.

POSIX

Portable **O**perating **S**ystem **I**nterface for **U**nix: è una famiglia di standard IEEE. Nel caso delle shell definisce una serie di regole e di comportamenti che possono favorire la portabilità tra più sistemi Unix (che però dipende anche da altri fattori del sistema!).

La shell *bash* soddisfa molti requisiti POSIX, ma presenta anche alcune differenze ed “estensioni” per agevolare almeno in parte la programmazione. (v. costrutti per confronti logici)

Struttura generale dei comandi

Solitamente un comando è identificato da una parola chiave cui possono seguire uno o più “argomenti” opzionali o obbligatori, accompagnati da un valore di riferimento o meno (in questo caso hanno valore di “flag”) e di tipo posizionale o nominale. A volte sono ripetibili.

`“ls -alh /tmp”` oppure `“ls -a -l -h”`

Gli argomenti nominali sono indicati con un trattino cui segue una voce (stringa alfanumerica) e talvolta presentano una doppia modalità di riferimento: breve (tipicamente voce di un singolo carattere) e lunga (tipicamente un termine mnemonico). Un singolo trattino si aspetta generalmente un carattere, un doppio trattino si aspetta generalmente una parola.

<code>app -h</code>	<code>app --help</code>
---------------------	-------------------------

Termini

- L'esecuzione dei comandi avviene “per riga” (viene eseguito quando premiamo INVIO) (*);
- un “termine” (istruzione, argomento, opzione, etc.) è solitamente una stringa alfanumerica senza spazi;
- spaziature multiple sono solitamente valide come singole e non sono significative se non per separare termini;
- è possibile solitamente usare gli apici singoli o doppi per forzare una sequenza come termine singolo;
- gli spazi iniziali e finali di una riga collassano e le righe vuote sono ignorate

(*) per i file batch (gli “script”) l'argomento sarà trattato in modo approfondito in una slide successiva

Commenti

È anche possibile utilizzare dei **commenti** da passare alla shell. L'unico modo formale è l'utilizzo del carattere '#' per cui esso e tutto ciò che segue fino al termine della riga è considerato un commento ed è sostanzialmente ignorato.

```
ls -la #-r this part is ignored
```

Alcuni comandi fondamentali

I comandi possono essere “builtins” (funzionalità intrinseche dell’applicazione shell utilizzata) o “esterni” (applicazioni eseguibili installate separatamente).

- clear
- pwd
- ls
- cd
- wc
- date
- cat
- echo
- alias/unalias
- touch
- read
- file
- chown
- chmod
- cp/mv
- **help**
- type
- grep
- function
- find

Comandi interattivi

La shell attende un input dall'utente e al completamento (conferma con INVIO) lo elabora. Per indicare l'attesa mostra all'utente un PROMPT (può essere modificato).

Fondamentalmente si individuano 3 canali per la comunicazione:

- **Standard input** (tipicamente la tastiera), canale 0, detto `stdin`
- **Standard output** (tipicamente il video), canale 1, detto `stdout`
- **Standard error** (tipicamente il video), canale 2, detto `stderr`

```
ls # mostra output della cartella corrente
```

```
ls not-existent-item #mostra un messaggio d'errore
```

Redirezionamento di base

I canali possono essere redirezionati (anche in cascata):

- `ls 1>/tmp/out.txt 2>/tmp/err.txt`
- `ls not-existent-item 1>/tmp/all.txt 2>&1`

Il primo comando mostra l'output su `out.txt` e l'error in `err.txt`. Il secondo comando mostra tutto su `all.txt`

Un caso molto utilizzato è la “soppressione” dell'output (utile per gestire solo side-effects, come ad esempio il codice di ritorno), ad esempio:

`type command 1>/dev/null 2>&1` (per sapere se *command* esiste)

Redirezionamento di base

- **'<':** `command < file.txt` usa un file anziché l'input per il comando (file read-only, **'<>'** read-write):
`mail -s "Subject" rcpt < content.txt` (anziché interattivo)
- **source>target** : `command 1>out.txt 2>err.txt`
redireziona *source* su *target*:
 - *source* può essere sottinteso (vale 1, `stdin`)
 - *target* può essere un canale (si indica con **&n**, ad esempio **&2**) o un file
- **'>|'** : si comporta come `>` ma forza la sovrascrittura anche se bloccata nelle configurazioni (`set -o noclobber`)

Redirezionamento di base

- **>>** : si comporta come **>** ma opera un *append* se la destinazione esiste
- **<<** : **here-document**, consente all'utente di specificare un terminatore testuale, dopodiché accetta l'input fino alla ricezione di tale terminatore.
- **<<<** : **here-string**, consente di fornire input in maniera non interattiva.

Esistono molte varianti e possibilità di combinazione dei vari operatori di redirezionamento.

Ambiente e variabili

La shell può utilizzare delle variabili per memorizzare e recuperare valori. I valori sono generalmente trattati come stringhe o interi, sebbene siano presenti anche semplici *array* (vettori di elementi)

- Il nome contiene solo ‘_’ e caratteri alfanumerici, e può iniziare solo con ‘_’ o una lettera.
- Per **set** / **get** al valore di una variabile:
 - Il **set** si effettua con `[export] variabile=valore (*)`
 - Il **get** si effettua con `$variabile` o `${variabile}` (sostituzione letterale)

(*) lo “scope” è generalmente quello del processo attuale: antepoendo “export” si rende disponibile anche agli eventuali processi figli

Ambiente e variabili

- La shell opera in un ambiente in cui ci sono alcuni riferimenti impostabili e utilizzabili attraverso l'uso delle cosiddette “variabili d'ambiente” con cui si intendono generalmente quelle con un significato particolare per la shell stessa (v. esempi di seguito)
- Tra le variabili d'ambiente più comuni troviamo ad esempio:
SHELL, PATH, TERM, PWD, PS1, HOME
- Essendo variabili a tutti gli effetti si impostano ed usano come le altre.

Variabili di sistema

Alcune variabili sono impostate e/o utilizzate direttamente dal sistema in casi particolari. Se ne vedranno alcune caratteristiche degli script/batch, ma intanto in modalità diretta se ne usano già diverse:

- SHELL : contiene il riferimento alla shell corrente (path completo)
- PATH : contiene i percorsi in ordine di priorità in cui sono cercati i comandi, separati da “:”
- TERM : contiene il tipo di terminale corrente
- PWD : contiene la cartella corrente
- PS1 : contiene il prompt e si possono usare marcatori speciali
- HOME : contiene la cartella principale dell’utente corrente

Esecuzione comandi e \$PATH

Quando si immette un comando (o una sequenza di comandi) la shell analizza quanto inserito (*parsing*) e individua le parti che hanno la posizione di comandi da eseguire: se sono interni ne esegue le funzionalità direttamente altrimenti cerca di individuare un corrispondente file eseguibile: questo è normalmente cercato nel file-system solo e soltanto nei percorsi definiti dalla variabile PATH a meno che non sia specificato un percorso (relativo o assoluto) nel qual caso viene utilizzato esso direttamente.

Dall'ultima osservazione discende che per un'azione abbastanza comune come lanciare un file eseguibile (non “installato”) nella cartella corrente occorre qualcosa come: `./nomefile`

Alcuni comandi fondamentali

I comandi possono essere “builtins” (funzionalità intrinseche dell’applicazione shell utilizzata) o “esterni” (applicazioni eseguibili installate separatamente).

- clear
- pwd
- ls
- cd
- wc
- date
- cat
- echo
- alias/unalias
- touch
- read
- file
- chown
- chmod
- cp/mv
- **help**
- type
- grep
- function
- find

Array

- Definizione: `lista=("a" 1 "b" 2 "c" 3)` **separati da spazi!**
- Output completo: `${lista[@]}`
- Accesso singolo: `${lista[x]}` (0-based)
- Lista indici: `${!lista[@]}`
- Dimensione: `${#lista[@]}`
- Set elemento: `lista[x]=value` → sparse array
- Append: `lista+=(value)`
- Sub array: `${lista[@]:s:n}` (from index s , length n)

Variabili \$\$ e \$?

Le variabili \$\$ e \$? non possono essere impostate manualmente (la stessa sintassi lo impedisce dato che i nomi sarebbero \$ e ? non utilizzabili normalmente):

- \$\$: contiene il PID del processo attuale (*)
- \$? : contiene il codice di ritorno dell'ultimo comando eseguito.

(*) sarà approfondito il concetto di PID in sezioni successive

Esecuzione comandi e parsing

- La riga dei comandi è elaborata con una serie di azioni “in sequenza” e poi rielaborata eventualmente più volte.
- Tra le azioni vi sono:
 - Sostituzioni speciali della shell (es. “!” per accedere alla “history” dei comandi)
 - Sostituzione variabili
 - Elaborazione subshell
- Sono svolte con un ordine di priorità e poi l’intera riga è rielaborata

Subshell

- È possibile avviare una subshell, ossia un sotto-ambiente in vari modi, in particolare raggruppando i comandi tra parentesi tonde:

(*...comandi...*)

- Spesso si usa “catturare” lo stdout della subshell, che viene così sostituito letteralmente e rielaborato. Si può fare in due modi:

\$ (*...comandi...*) oppure ` *...comandi...* `

Attenzione al fatto che le parentesi tonde sono utilizzate anche per definire *array*

Espansione aritmetica

- La sintassi base per una subshell è da non confondere con l'espansione aritmetica che utilizza le doppie parentesi tonde.
- All'interno delle doppie parentesi tonde si possono rappresentare varie espressioni matematiche inclusi assegnamenti e confronti.

```
(( a = 7 )) (( a++ )) (( a < 10 )) (( a = 3<10?1:0 ))
```

Si può catturare l'output con `$((...))`

```
b=$((c+a))
```

Concatenazione comandi

È possibile concatenare più comandi in un'unica riga in vari modi con effetti differenti:

- `comando1 ; comando2` concatenazione semplice: esecuzione in sequenza
- `comando1 && comando2` concatenazione logica “and”: l'esecuzione procede solo se il comando precedente non fallisce (codice ritorno zero)
- `comando1 || comando2` concatenazione logica “or”: l'esecuzione procede solo se il comando precedente fallisce (codice ritorno NON zero)
- `comando1 | comando2` concatenazione con piping (v. prox)

Esempio alcuni comandi e sostituzione subshell

```
echo "/tmp" > /tmp/tmp.txt ; ls $(cat /tmp/tmp.txt)
```

i comandi sono eseguiti rispettando la sequenza:

- `echo "/tmp" > /tmp/tmp.txt` crea un file temporaneo con `"/tmp"`
- `ls $(cat /tmp/tmp.txt)` gestita in due passaggi:
 - `cat /tmp/tmp.txt` genera in stdout `"/tmp"` e poi con sostituzione...
 - `ls /tmp` mostra il contenuto della cartella `/tmp`

Operatori di piping (“pipe”): | e |&

La concatenazione con gli operatori di piping “cattura” l’output di un comando e lo passa in input al successivo:

- `ls | wc -l` : cattura solo `stdout`
- `ls |& wc -l` : cattura `stdout` e `stderr`

NOTA. il comando `ls` ha un comportamento atipico: il suo output di base è differente a seconda che il comando sia diretto al terminale o a un piping (*)

Differenze tra operatori di ridirezione e piping

Qual'è la differenza tra

```
ls | wc -l
```

```
ls > wc -l
```

`ls | wc -l` → lo stdout del primo comando diventa lo stdin del secondo comando

`ls > wc -l` → lo stdout del primo comando viene mandato sul file/canale

specificato. In questo caso `wc` non è un comando ma il percorso di un file.

Confronti logici - costrutti

I costrutti fondamentali per i confronti logici sono il comando `test` e i raggruppamenti tra parentesi quadre singole e doppie: `[...]`, `[[...]]`

- `test ...` e `[...]` sono *built-in* equivalenti
- `[[...]]` è una coppia di *shell-keywords*

In tutti i casi il blocco di confronto genera il codice di uscita 0 in caso di successo, un valore differente (tipicamente 1) altrimenti.

NOTA: i *builtins* sono sostanzialmente dei comandi il cui corpo d'esecuzione è incluso nell'applicazione shell (non sono eseguibili esterni) e quindi seguono sostanzialmente le “regole generali” dei comandi, mentre le *shell-keywords* sono gestite come marcatori speciali così che possono “attivare” regole particolari di parsing. Un caso esemplificativo sono gli operatori “<” e “>” che normalmente valgono come redirectione, ma all'interno di `[[...]]` valgono come operatori relazionali.

Confronti logici - tipologia operatori

Le parentesi quadre singole sono POSIX-compliant, mentre le doppie sono un'estensione bash. Nel primo caso gli operatori relazionali “tradizionali” (*minore-di*, *maggiore-di*, etc.) non possono usare i termini comuni (<, >, etc.) perché hanno un altro significato (*) e quindi se ne usano di specifici che però hanno un equivalente più “tradizionale” nel secondo caso.

Gli operatori e la sintassi variano a seconda del tipo di informazioni utilizzate: una distinzione sottile c'è per confronti tra stringhe e confronti tra interi.

(*) salvo eventualmente utilizzare il raggruppamento con doppie parentesi tonde per le espansioni aritmetiche

Confronti logici - interi e stringhe

interi		
	[...]	[[...]]
uguale-a	-eq	==
diverso-da	-ne	!=
minore-di	-lt	<
minore-o-uguale-a	-le	<=
maggiore-di	-gt	>
maggiore-o-uguale-a	-ge	>=

stringhe		
	[...]	[[...]]
uguale-a	= o ==	
diverso-da	!=	
minore-di (ordine alfabetico)	\<	<
maggiore-di (ordine alfabetico)	\>	>
nota: occorre lasciare uno spazio prima e dopo i "simboli" (es. non "=" ma " = ")		

Confronti logici - operatori unari

Esistono alcuni operatori unari ad esempio per verificare se una stringa è vuota o meno oppure per controllare l'esistenza di un file o di una cartella.

Alcuni esempi:

```
[ [ -f /tmp/prova ] ]      : è un file?  
[ [ -e /tmp/prova ] ]      : file esiste?  
[ [ -d /tmp/prova ] ]      : è una cartella?  
[ [ -z $a ] ]              : è una stringa vuota?
```

NB: sono essenziali gli spazi dopo [[e prima di]]. È possibile usare sia [che [[

Confronti logici - negazione

Il carattere “!” (punto esclamativo) può essere usato per negare il confronto seguente.

Alcuni esempi:

```
[[ ! -f /tmp/prova ]]
```

```
[[ ! -e /tmp/prova ]]
```

```
[[ ! -d /tmp/prova ]]
```

ESERCIZI - 1

Scrivere delle sequenze di comandi (singola riga da eseguire tutta in blocco) che utilizzano come “input” il valore della variabile DATA per:

1. Stampa “T” (per True) o “F” (per False) a seconda che il valore rappresenti un file o una cartella esistente
2. Stampa “file”, “cartella” o “?” a seconda che il valore rappresenti un file (esistente), una cartella (esistente) o una voce non presente nel file-system
3. Stampa il risultato di una semplice operazione aritmetica (es: ‘ $1 < 2$ ’) contenuta nel file indicato dal valore di DATA, oppure “?” se il file non esiste

NB: usate le subshell se necessario!

SCRIPT/BATCH

È possibile raccogliere sequenze di comandi in un file di testo che può poi essere eseguito:

- Richiamando il tool “bash” e passando il file come argomento
 - Esempio: `bash ../file.sh`
- Impostando il bit “x” e specificando il percorso completo, o solo il nome se la cartella è in `$PATH`:
 - Esempio: `chmod +x ../file.sh && ../file.sh`

Esempio 1 - subshell e PID

SCRIPT “bashpid.sh”:

```
# bashpid.sh
echo $BASHPID #the id of the current bash process
echo $( echo $BASHPID)
```

CLI:

```
chmod +x ./bashpid.sh ; echo $BASHPID ; ./bashpid.sh
```


Elementi particolari negli SCRIPT

Le righe vuote e i commenti (#) sono ignorati.

La prima riga può essere un metacommento (detto hash-bang, she-bang e altri nomi simili): `#!/application [opts]` che identifica un'applicazione cui passare il file stesso come argomento (tipicamente usato per identificare l'interprete da utilizzare)

Sono disponibili variabili speciali in particolare

- `$@` : lista completa degli argomenti passati allo script
- `$#` : numero di argomenti passati allo script
- `$0`, `$1`, `$2`, ... : n-th argomento

Altri costrutti

For loop:

```
for i in ${!lista[@]}; do
    echo ${lista[$i]}
done
```

While loop:

```
while [[ $i < 10 ]]; do
    echo $i ; (( i++ ))
done
```

If condition:

```
if [ $1 -lt 10 ]; then
    echo less than 10
elif [ $1 -gt 20 ]; then
    echo greater than 20
else
    echo between 10 and 20
fi
```

Questi costrutti possono essere anche scritti su una sola riga e usati in un terminale.

Esempio 2 - argomenti

SCRIPT “args.sh”:

```
#!/usr/bin/env bash
nargs=$#
while [[ $1 != "" ]]; do
    echo "ARG=$1"
    shift
done
```

CLI:



```
chmod +x ./args.sh
./args.sh uno
./args.sh uno due tre
```

Funzioni

```
function_name () {  
    local var1='C' #use a local scoped variable  
    echo $1 $2 #normal arguments variables  
    return 44 #only return codes  
}
```

```
function function_name () { commands; }
```

```
function_name arg1 $arg2 #call the function with 2 args
```

 stringa  variabile

ESERCIZI - 2

- Scrivere uno script che dato un qualunque numero di argomenti li restituisca in output in ordine inverso.
- Scrivere uno script che mostri il contenuto della cartella corrente in ordine inverso rispetto all'output generato da “ls” (che si può usare ma senza opzioni). Per semplicità, assumere che tutti i file e le cartelle non abbiano spazi nel nome.

CONCLUSIONI

L'utilizzo di BASH - tramite CLI o con SCRIPT - è basilare per poter interagire attraverso comandi con il file-system, con le risorse del sistema e per poter invocare tools e applicazioni.