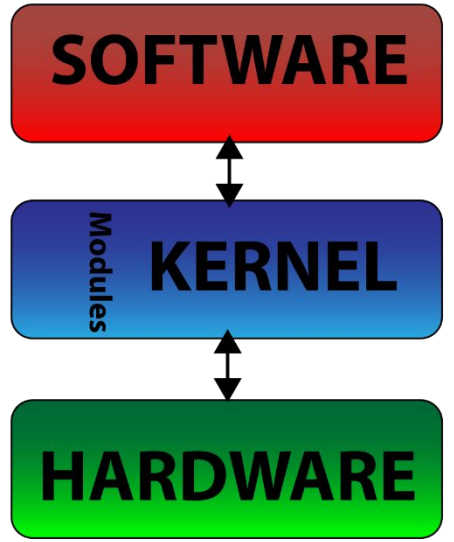
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA BASILICATA

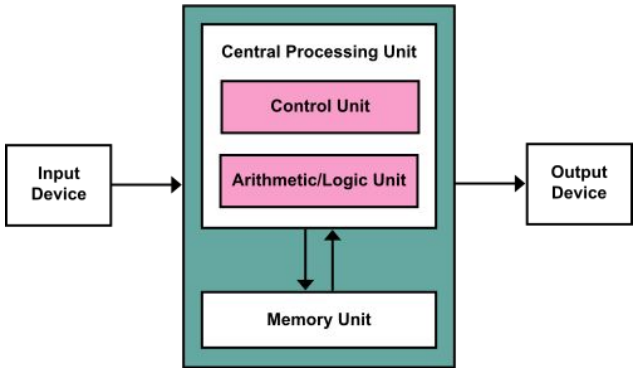
Corso di Sistemi Operativi
A.A. 2019/20

Esempi di sincronizzazione



Docente:
Domenico Daniele Bloisi

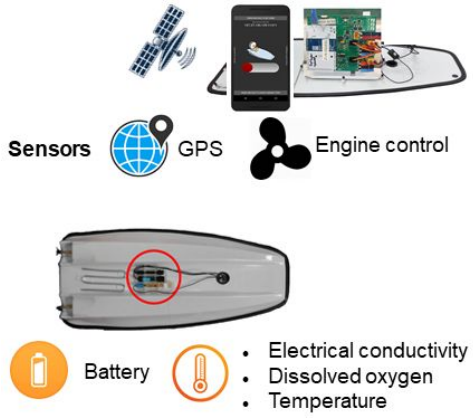
Ottobre 2019

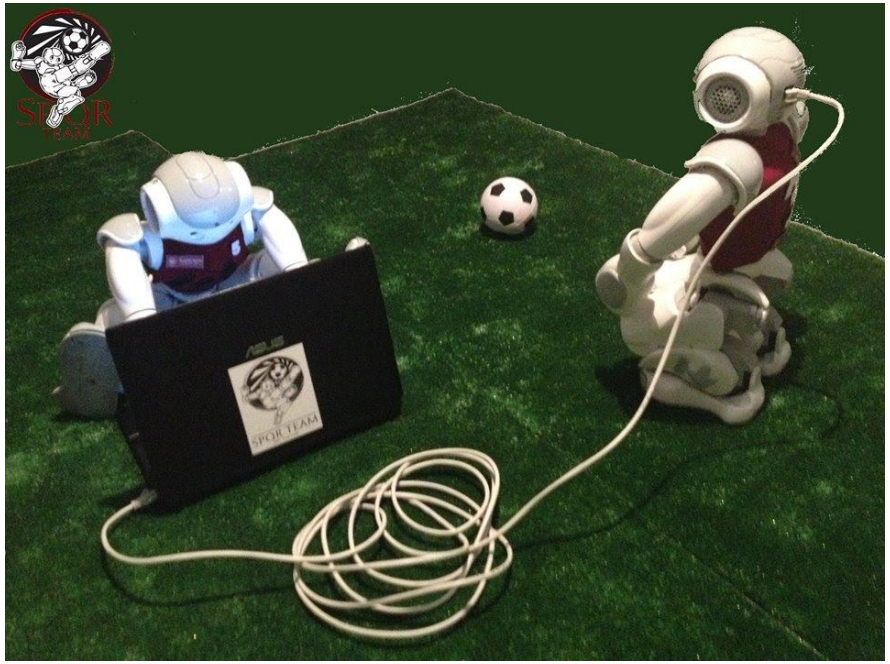


Domenico Daniele Bloisi

- Ricercatore RTD B
  Dipartimento di Matematica, Informatica ed Economia
  Università degli studi della Basilicata
  http://web.unibas.it/bloisi

- SPQR Robot Soccer Team
  Dipartimento di Informatica, Automatica e Gestionale Università degli studi di Roma “La Sapienza”
  http://spqr.diag.uniroma1.it





Ricevimento

- In aula, subito dopo le lezioni
- Martedì dalle 11:00 alle 13:00 presso:
  Campus di Macchia Romana
  Edificio 3D (Dipartimento di Matematica, Informatica ed Economia)
  II piano, stanza 15

Email: domenico.bloisi@unibas.it

Programma – Sistemi Operativi

- Introduzione ai sistemi operativi
- Gestione dei processi
- Sincronizzazione dei processi
- Gestione della memoria centrale
- Gestione della memoria di massa
- File system
- Sicurezza e protezione

Semafori

Un **semaforo S** è una variabile intera cui si può accedere, escludendo l'inizializzazione, solo tramite due operazioni atomiche predefinite: wait() e signal().

```
wait(S) {
    while(S <= 0)
        ; /* busy wait */
    S--;
}
```

```
signal(S) {
    S++;
}
```

Implementazione semafori

- This implementation is based on **busy waiting** in critical section implementation (that is, the code for `wait()` and `signal()`)
  - But implementation code is short
  - Little busy waiting if critical section rarely occupied
- Can we implement semaphores with no busy waiting?

Semafori senza busy waiting

- With each semaphore there is an associated waiting queue
- Each entry in a waiting queue has two data items:
  - value (of type integer)
  - pointer to next record in the list

```
typedef struct{
int value;
struct process *list;
} semaphore;
```

- Two operations:
  - **sleep()** - place the process invoking the operation on the appropriate waiting queue
  - **wakeup (P)** – remove one of processes in the waiting queue and place it in the ready queue

Semafori senza busy waiting

```
wait(semaphore *S) {
        S->value--;
        if (S->value < 0) {
            add this process to S->list;
            sleep();
        }
}
```

```
signal(semaphore *S) {
        S->value++;
        if (S->value <= 0) {
            remove a process P from S->list;
            wakeup(P);
        }
}
```

Classici problemi di sincronizzazione

Problema del produttore/consumatore con memoria limitata

Problema dei lettori-scrittori

Problema dei cinque filosofi (dining philosophers)

Produttore/consumatore con memoria limitata

- Il **problema del produttore/consumatore con memoria limitata** si usa generalmente per illustrare la potenza delle primitive di sincronizzazione.

- *Simmetria* esistente tra il produttore e il consumatore.

Produttore/consumatore con memoria limitata

Strutture dati condivise:

```
int n;
semaphore mutex = 1;
semaphore empty = n;
semaphore full = 0;
```

Produttore/consumatore con memoria limitata

```
while (true) {
        . . .
    /* produci un elemento in next_produced */
        . . .
    wait(empty);
    wait(mutex);
        . . .
    /* inserisci next_produced in buffer */
        . . .
    signal(mutex);
    signal(full);
}
```

Figura 7.1 Struttura generale del processo produttore.

Produttore/consumatore con memoria limitata

```
while (true) {
  wait(full);
  wait(mutex);
    . . .
  /* rimuovi un elemento da buffer e mettilo in next_consumed */
    . . .
  signal(mutex);
  signal(empty);
    . . .
  /* consuma l'elemento contenuto in next_consumed */
    . . .
}
```

Figura 7.2 Struttura generale del processo consumatore.

Problema dei lettori/scrittori

- Si immagini di avere un sistema di prenotazioni aeree …
- Un insieme di processi devono leggere o scrivere sul database delle prenotazioni
- Più lettori possono accedere contemporaneamente al database
- Gli scrittori devono avere accesso esclusivo al database
- I lettori hanno precedenza sugli scrittori
- se uno scrittore chiede di accedere mentre uno o più lettori stanno accedendo al database, lo scrittore deve attendere che i lettori abbiano finito

Problema dei lettori/scrittori

- Readers read data
- Writers write data
- Rules
  - Multiple readers may read the data simultaneously
  - Only one writer can write the data at any time
  - A reader and a writer cannot access data simultaneously
- Locking table
  - Whether any two can be in the critical section simultaneously

	Reader	Writer
Reader	OK	No
Writer	No	No

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Problema dei lettori/scrittori

Strutture dati condivise:

```
semaphore rw_mutex = 1;
semaphore mutex = 1;
int read_count = 0;
```

Problema dei lettori/scrittori

```
while (true) {
     wait(rw_mutex);
          . . .
     /* esegui l'operazione di scrittura */
          . . .
     signal(rw_mutex);
}
```

Figura 7.3 Struttura generale di un processo scrittore.

Problema dei lettori/scrittori

```
while (true) {
    wait(mutex);
    read_count++;
    if (read_count == 1)
        wait(rw_mutex);
    signal(mutex);
        . . .
    /* esegui l'operazione di lettura */
        . . .
    wait(mutex);
    read_count--;
    if (read_count == 0)
        signal(rw_mutex);
    signal(mutex);
}
```

Figura 7.4 Struttura generale di un processo lettore.

Lock lettura-scrittura

Le soluzioni al problema dei lettori-scrittori sono state generalizzate su alcuni sistemi in modo da fornire **lock di lettura-scrittura.**

I lock di lettura-scrittura sono utili:

1. dove si identificano i processi che si limitano alla lettura di dati condivisi e quelli che si limitano alla scrittura di dati condivisi

2. dove si prevedono più lettori che scrittori

Problema dei cinque filosofi

Il *problema dei cinque filosofi* (*dining philosophers*) è considerato un classico problema di sincronizzazione, perché rappresenta una vasta classe di problemi di controllo della concorrenza, in particolare i problemi caratterizzati dalla necessità di assegnare varie risorse a diversi processi evitando situazioni di stallo e d'attesa indefinita

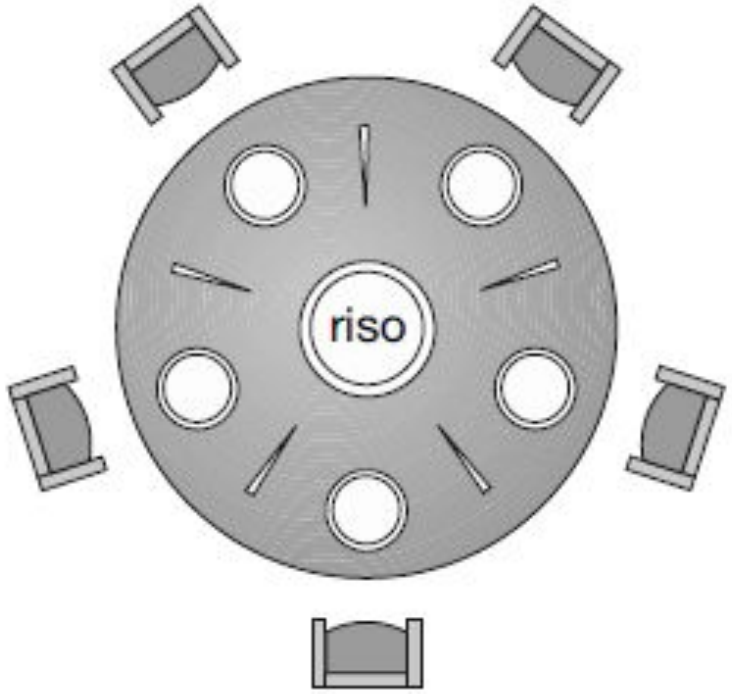


Figura 7.5 Situazione dei cinque filosofi (dining philosophers).

Cinque filosofi

- N philosophers and N forks
- Philosophers eat/think
- Eating needs 2 forks
- Pick up one fork at a time

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Cinque filosofi

```
# define N 5

void philosopher (int i) {
    while (TRUE) {
        think();
        take_fork(i);
        take_fork((i+1)%N);
        eat(); /* yummy */
        put_fork(i);
        put_fork((i+1)%N);
    }
}
```

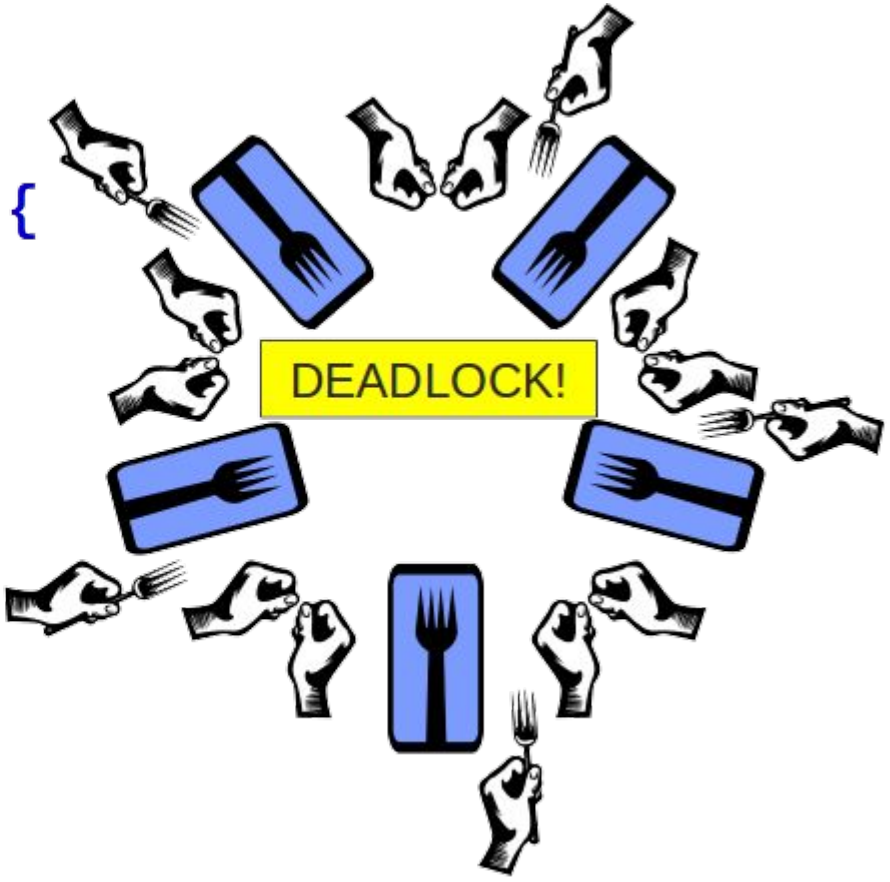
Does this work?

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Cinque filosofi

```
# define N 5

void philosopher (int i) {
    while (TRUE) {
        think();
        take_fork(i);
        take_fork((i+1)%N);
        eat(); /* yummy */
        put_fork(i);
        put_fork((i+1)%N);
    }
}
```



https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Problema dei cinque filosofi

Soluzione con uso di semafori

```
while (true) {
    wait(chopstick[i]);
    wait(chopstick[(i+1) % 5]);
        . . .
    /* mangia */
        . . .
    signal(chopstick[i]);
    signal(chopstick[(i+1) % 5]);
        . . .
    /* pensa */
        . . .
}
```

Figura 7.6 Struttura del filosofo *i*.

Problema dei cinque filosofi

Soluzione per mezzo di monitor

```
monitor DiningPhilosophers
{
    enum {THINKING, HUNGRY, EATING} state[5];
    condition self[5];

    void pickup(int i) {
        state[i] = HUNGRY;
        test(i);
        if (state[i] != EATING)
            self[i].wait();
    }

    void putdown(int i) {
        state[i] = THINKING;
        test((i + 4) % 5);
        test((i + 1) % 5);
    }

    void test(int i) {
        if ((state[(i + 4) % 5] != EATING) &&
            (state[i] == HUNGRY) &&
            (state[(i + 1) % 5] != EATING)) {
              state[i] = EATING;
              self[i].signal();
        }
    }
    Initialization_code() {
        for (int i = 0; i < 5; i++)
            state[i] = THINKING;
        }
}
```

Figura 7.7 Una soluzione con monitor al problema dei cinque filosofi.

Sincronizzazione all’interno del kernel

Sincronizzazione in Windows

Il sistema operativo Windows ha un kernel multithread che offre anche il supporto alle applicazioni in tempo reale e alle architetture multiprocessore

Per la sincronizzazione fuori dal kernel, Windows offre gli **oggetti dispatcher**, che permettono ai thread di sincronizzarsi servendosi di diversi meccanismi, inclusi lock mutex, semafori, eventi e timer.

Sincronizzazione all'interno del kernel

Sincronizzazione in Windows

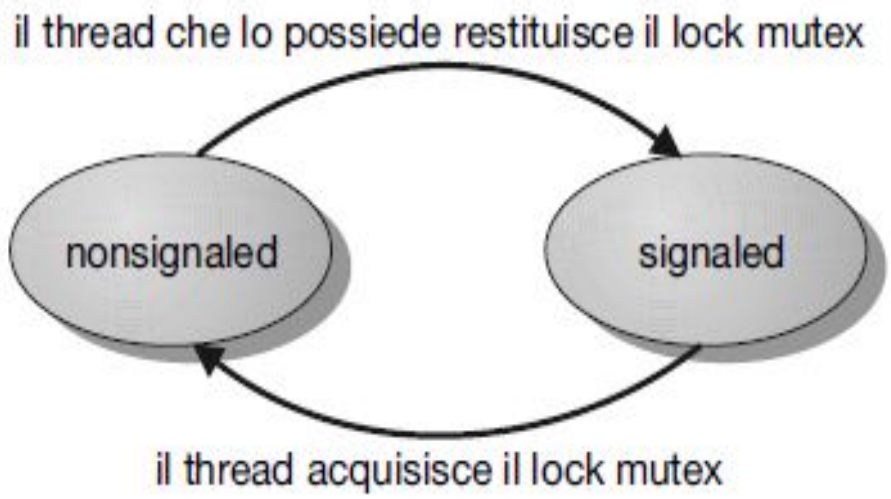


Figura 7.8 Oggetto dispatcher di tipo mutex.

stato signaled l'oggetto è disponibile e un thread che tenta di accedere all'oggetto non viene bloccato

stato nonsignaled l'oggetto non è disponibile e qualsiasi thread che tenta di accedervi viene bloccato

Sincronizzazione all'interno del kernel

Sincronizzazione dei processi in Linux

La tecnica di sincronizzazione più semplice nel kernel di Linux è l'**intero atomico**, rappresentato mediante il tipo di dato opaco atomic_t.

Gli interi atomici sono particolarmente efficienti in situazioni in cui deve essere aggiornata una variabile intera, per esempio un contatore, in quanto non risentono dell'overhead dei meccanismi di lock.

Sincronizzazione all’interno del kernel

Sincronizzazione dei processi in Linux

Linux fornisce anche spinlock e semafori (nonché la variante lettore-scrittore di questi due meccanismi) per implementare i lock a livello kernel.

Sincronizzazione POSIX

L'**API POSIX** è a disposizione dei programmatori a livello utente e non fa parte di alcun particolare kernel

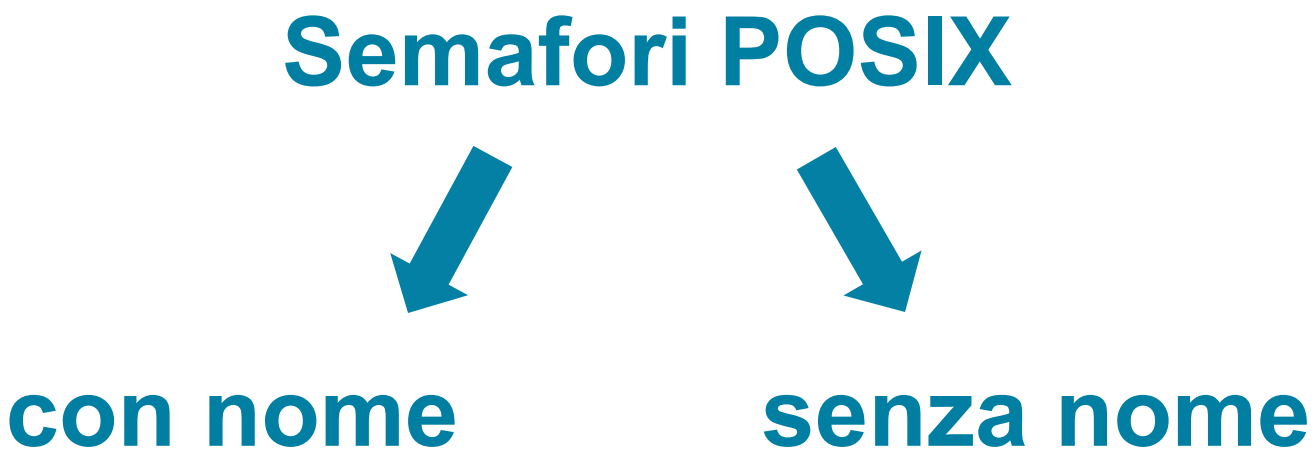
API Pthreads utilizzate per la creazione e la sincronizzazione di thread da parte degli sviluppatori su sistemi UNIX, Linux e macOS

Lock mutex

I **lock mutex** rappresentano la tecnica di sincronizzazione fondamentale in ambiente Pthreads

proteggono le sezioni critiche del codice

Semafori POSIX



Semafori con nome POSIX

Il vantaggio dei **semafori con nome** è che più processi non correlati possono facilmente utilizzare un semaforo comune come meccanismo di sincronizzazione, facendo semplicemente riferimento al nome del semaforo.

Sia i sistemi Linux sia quelli macOS forniscono **semafori POSIX con nome**

Semafori senza nome POSIX

Un **semaforo senza nome** viene creato e inizializzato mediante la funzione `sem_init()`

I semafori POSIX senza nome usano le stesse operazioni di quelli con nome,
`sem_wait()`
e
`sem_post()`

Variabili condizionali POSIX

Le **variabili condizionali in Pthreads** usano il tipo di dato `pthread_cond_t` e vengono inizializzate mediante la funzione `pthread_cond_init()`

Per l'attesa su una variabile condizionale viene usata la funzione `pthread_cond_wait()`

Variabili condizionali POSIX

Il seguente codice mostra come un thread può aspettare il verificarsi della condizione a == b utilizzando una variabile condizionale Pthreads:

```
pthread_mutex_lock(&mutex);
while (a != b)
      pthread_cond_wait (&cond_var, &mutex);
pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

Al crescere del numero di core diventa sempre più difficile progettare applicazioni multithread che siano esenti da race condition e stalli.

a supporto del progetto di applicazioni concorrenti sicure esistono *approcci alternativi*

- Memoria transazionale o transazione di memoria
- OpenMP
- Linguaggi di programmazione funzionali: Erlang e Scala

A differenza dei linguaggi procedurali, i linguaggi funzionali non mantengono lo stato e sono quindi generalmente immuni dalle race condition e dalle sezioni critiche.

Esame

- Il voto finale viene conseguito svolgendo un esame scritto con tre domande a risposta aperta (max 5 punti per ogni risposta) e 2 esercizi (max 7,5 punti per ogni esercizio).

- Gli studenti possono chiedere di svolgere un progetto BONUS facoltativo per ottenere fino a tre punti che verranno sommati al voto ottenuto durante l'esame scritto.

Progetti BONUS

- Il progetto può essere svolto individualmente o in gruppo
- Il numero massimo di studenti in un gruppo è 3
- Il progetto dovrà essere realizzato in C/C++ in ambiente GNU/Linux

Progetti BONUS

- Il codice dovrà essere disponibile su un repository Git (per esempio, GitHub, GitLab, Bitbucket, …)

- Nel caso di lavori in gruppo, il repository dovrà avere contributi da tutti i membri del gruppo (verificabili tramite analisi delle commit)

Progetti BONUS

- Insieme al codice dovrà essere consegnata una presentazione (10-15 slide) con la descrizione del lavoro effettuato

Git

Git /gɪt/ is a distributed revision control and source code management (SCM) system with an emphasis on speed

https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

SCM - motivation

- Sources sharing across networks
- User signature on each revision
- More advanced features (local/remote repository, branching...)

https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

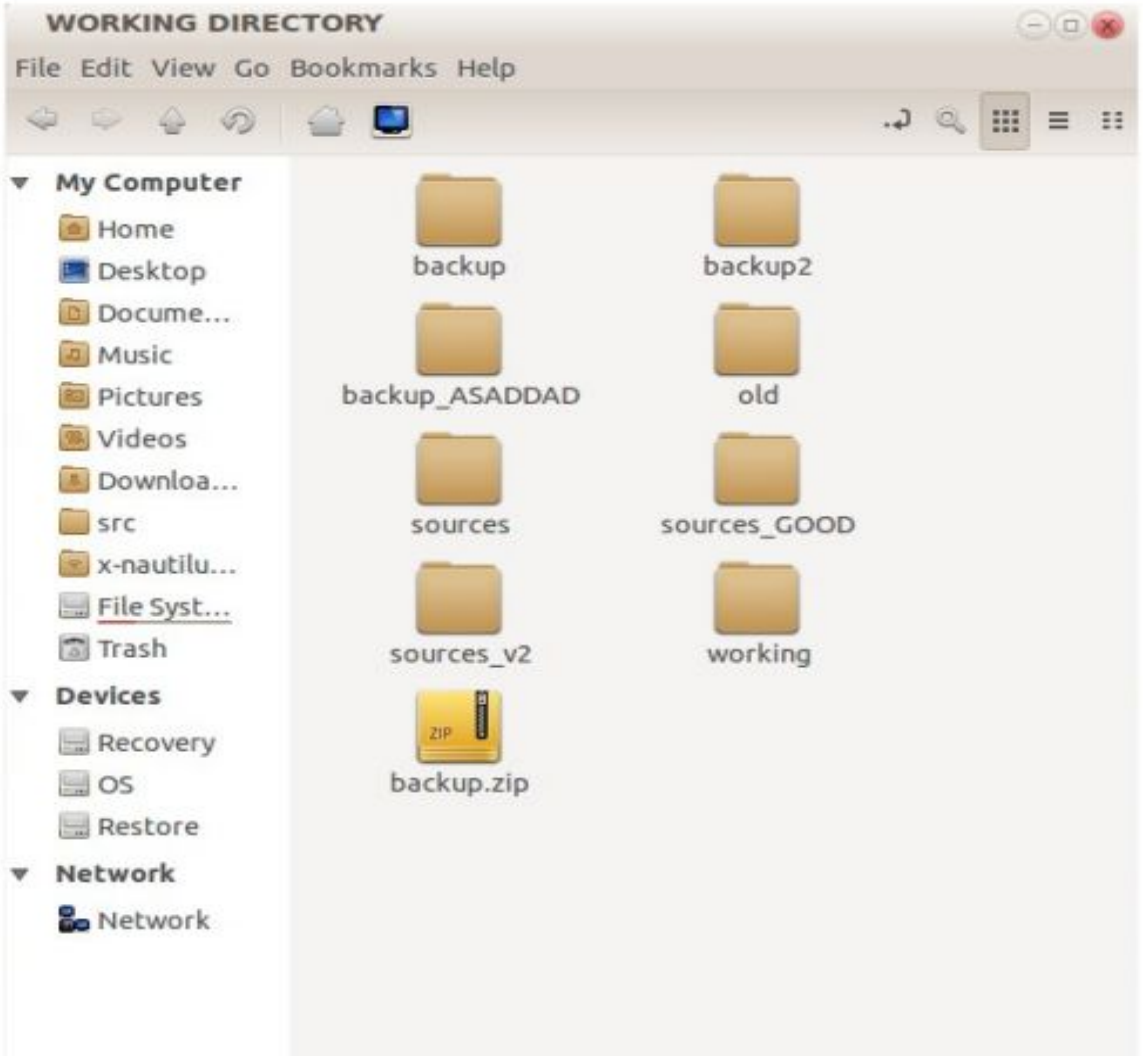
SCM - motivation

- Each revision is stored on the repository
- Rollback to a working version (after a disaster update) it's blazing fast

https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

SCM - motivation

Vogliamo evitare di avere diverse versioni del codice non ordinate



https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

Installare Git

```
sudo apt-get install git-core
```

https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

Ottenere il codice con Git

```
git clone https://github.com/dbloisi/detectball.git
```

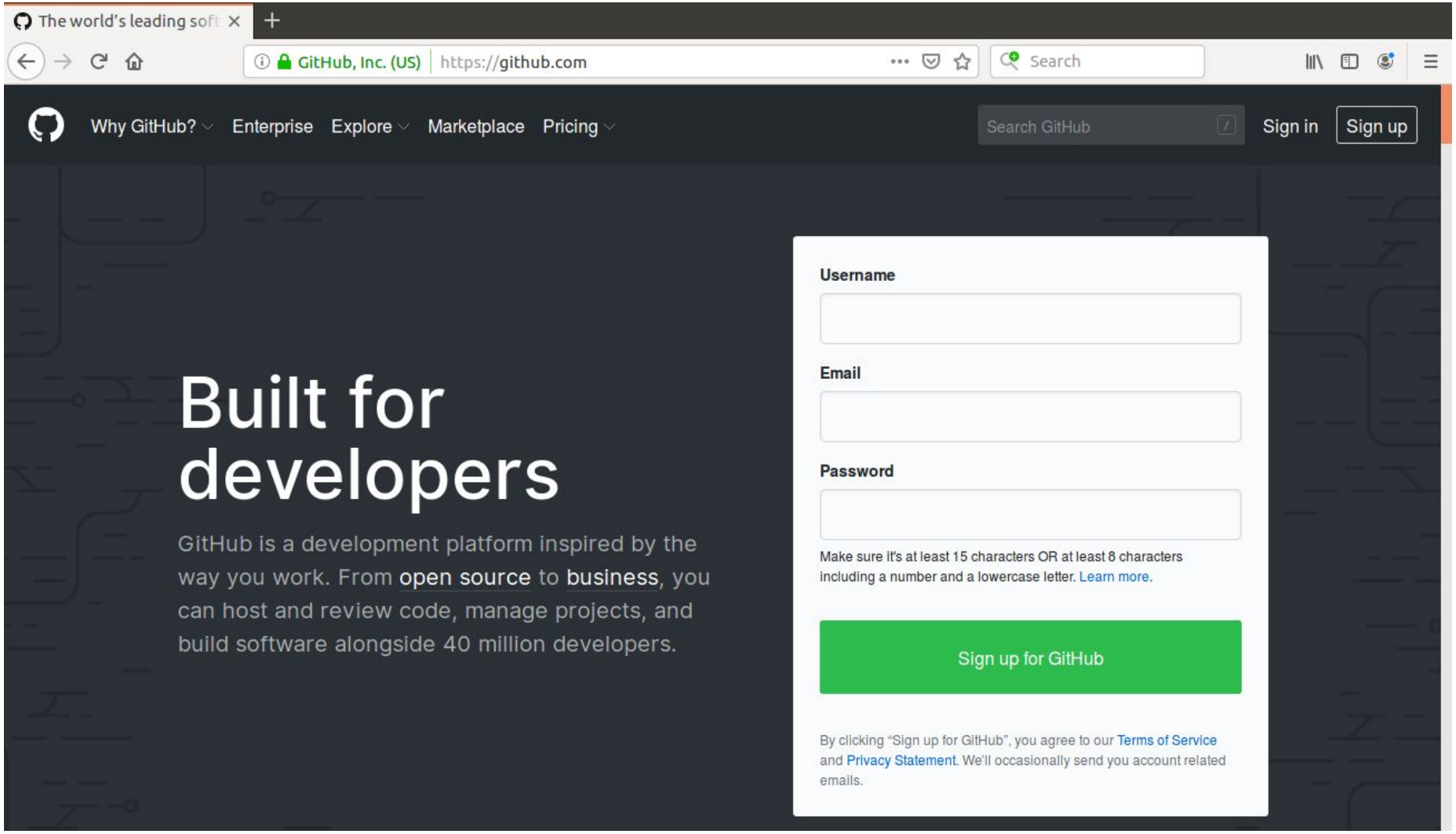
https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

GitHub

- Online git repository
- Free for open source projects

https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

github.com

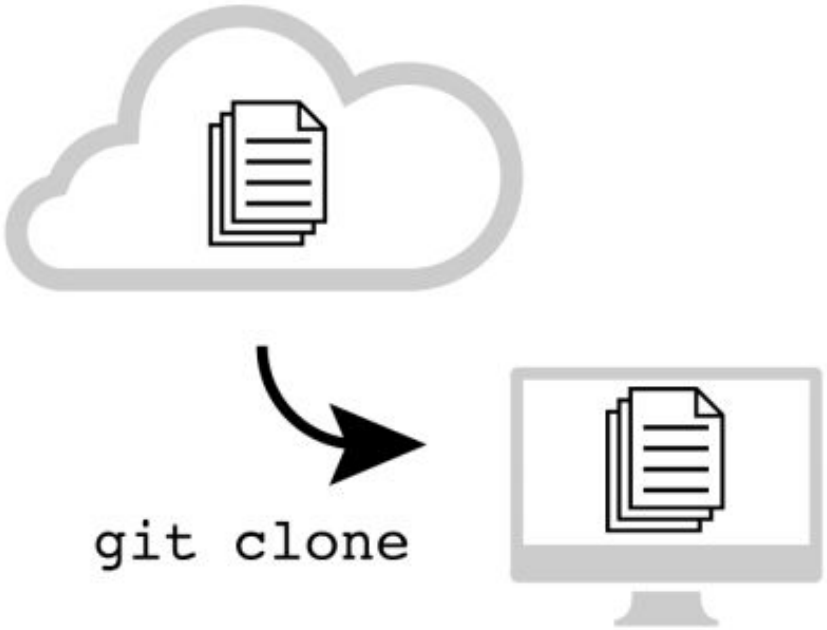


https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

clone

git clone $URL

copy the whole repository and it's story on the local machine

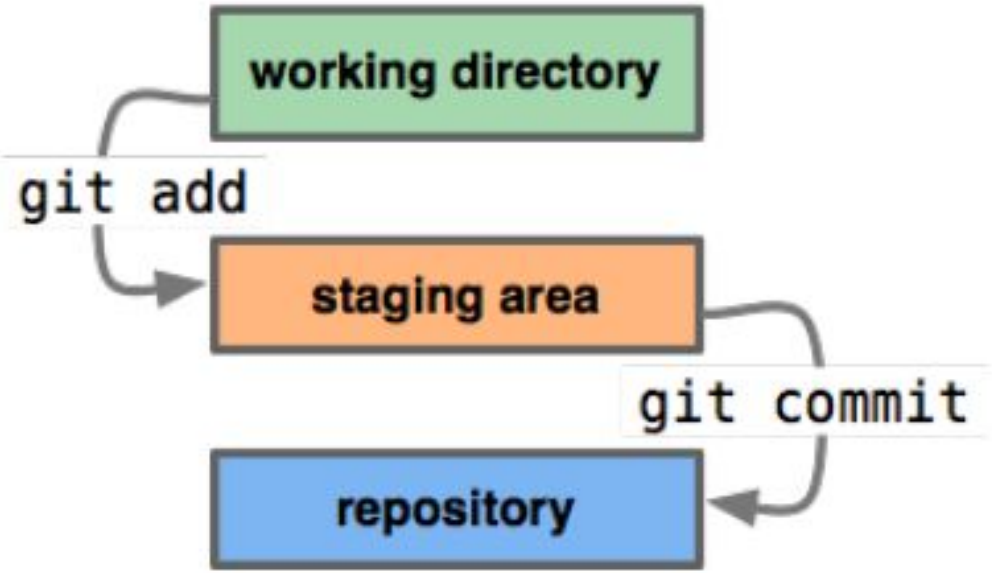


https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

add e commit

git add $FILE
git commit $MESSAGE

the file new release is confirmed and locked in the local repository.



https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

pull

git pull

downloads the updated files from the remote reposity

https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

push

git push

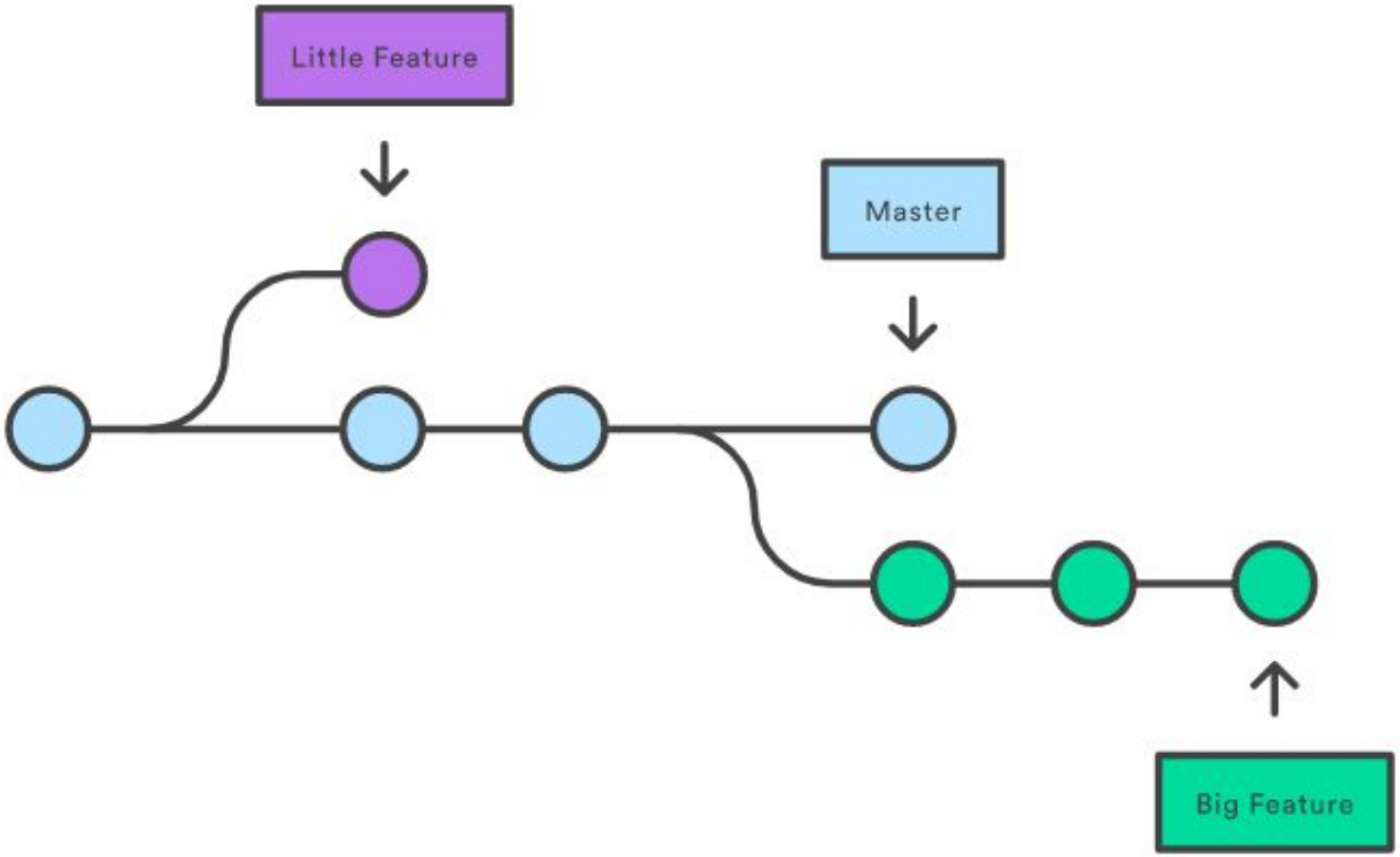
sends the committed files to the remote repository

https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

branch

git branch

list all available branches

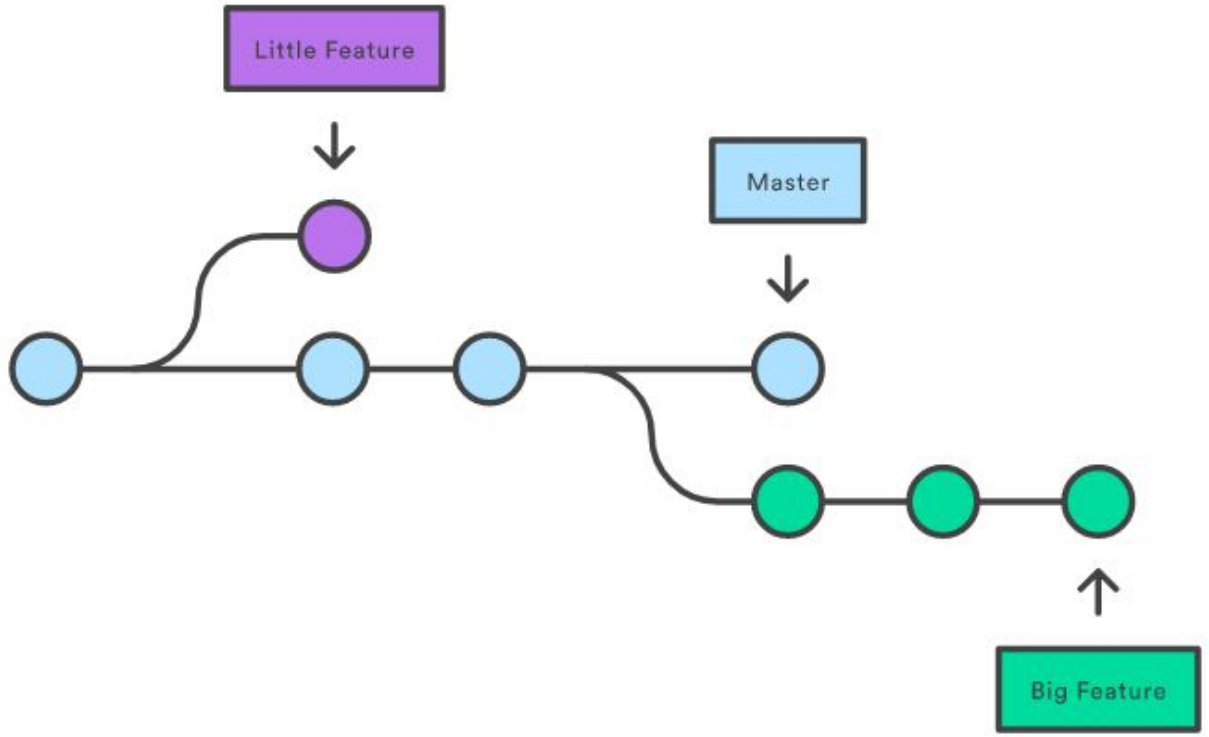


https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

checkout

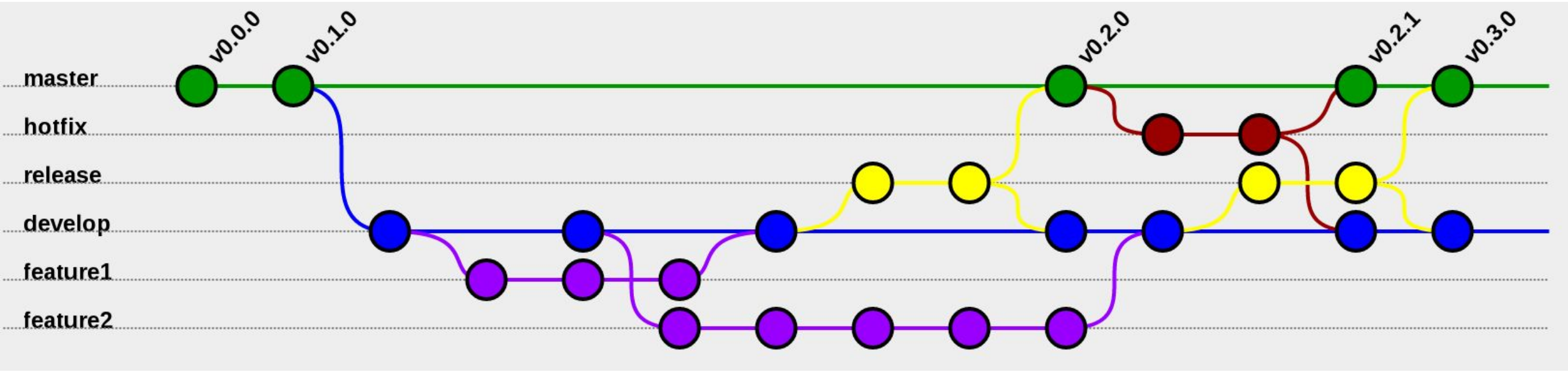
git checkout $BRANCHNAME

switch from current branch to $BRANCHNAME



https://www.dis.uniroma1.it/~nardi/Didattica/CAI/matdid/GIT_SLIDES.pdf

Esempio



https://medium.com/@stansarr/git-workflow-branches-strategy-4d29f9b2a417

Sleeping Barber

- Customers
  - N chairs for waiting
- Barber
  - Can cut one customer's hair at any time
  - No waiting customer => barber sleeps
- Customer enters
  - If all waiting chairs full, customer leaves
  - If barber asleep, wake up barber and get hair cut
  - Otherwise (barber is busy), wait in a chair

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Sleeping Barber

```
#define CHAIRS 5
semaphore customers, barbers;
mutex lock
int waiting
```

```
barber {
    while (TRUE) {
        semWait(customers);
        mutexLock(lock);
        waiting = waiting-1;
        semSignal(barbers);
        mutexUnlock(lock);
        cutHair();
    }
}
```

Sleep if no customers

One barber is ready to cut hair

```
customer {
    mutexLock(lock);
    if (waiting < chairs) {
        waiting = waiting+1;
        semSignal(customers);
        mutexUnlock(lock);
        semWait(barbers);
        getHaircut();
    else {
        mutexUnlock(lock);
    }
```

Wake up barbers

Wait for barber

If no free chairs, leave

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Sleeping Barber

```
#define CHAIRS 5
semaphore customers, barbers;
mutex lock
int waiting
```

What is the shared data?
What part protects the shared data?

```
barber {
    while (TRUE) {
        semWait(customers);
        mutexLock(lock);
        waiting = waiting-1;
        semSignal(barbers);
        mutexUnlock(lock);
        cutHair();
    }
}
```

```
customer {
    mutexLock(lock);
    if (waiting < chairs) {
        waiting = waiting+1;
        semSignal(customers);
        mutexUnlock(lock);
        semWait(barbers);
        getHaircut();
    else {
        mutexUnlock(lock);
}
```

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Sleeping Barber

```
barber {
    while (TRUE) {
        semWait(customers);
        mutexLock(lock);
        waiting = waiting-1;
        semSignal(barbers);
        mutexUnlock(lock);
        cutHair();
    }
}
```

Shared data

```
#define CHAIRS 5
semaphore customers, barbers;
mutex lock
int waiting

customer {
    mutexLock(lock);
    if (waiting < chairs) {
        waiting = waiting+1;
        semSignal(customers);
        mutexUnlock(lock);
        semWait(barbers);
        getHaircut();
    else {
        mutexUnlock(lock);
}
```

Shared data

What is the shared data?
What part protects the shared data?

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Sleeping Barber

```
barber {
    while (TRUE) {
        semWait(customers);
        mutexLock(lock);
        waiting = waiting-1;
        semSignal(barbers);
        mutexUnlock(lock);
        cutHair();
    }
}
```

Shared data

```
#define CHAIRS 5
semaphore customers, barbers;
mutex lock
int waiting

customer {
    mutexLock(lock);
    if (waiting < chairs) {
        waiting = waiting+1;
        semSignal(customers);
        mutexUnlock(lock);
        semWait(barbers);
        getHaircut();
    else {
        mutexUnlock(lock);
}
```

Shared data

What is the shared data?
What part protects the shared data?

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Sleeping Barber

```
#define CHAIRS 5
semaphore customers, barbers;
mutex lock
int waiting
```

```
barber {
    while (TRUE) {
        semWait(customers);
        mutexLock(lock);
        waiting = waiting-1;
        semSignal(barbers);
        mutexUnlock(lock);
        cutHair();
    }
}
```

What guarantees that not too many customer are waiting?

```
customer {
    mutexLock(lock);
    if (waiting < chairs) {
        waiting = waiting+1;
        semSignal(customers);
        mutexUnlock(lock);
        semWait(barbers);
        getHaircut();
    else {
        mutexUnlock(lock);
}
```

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Sleeping Barber

```
#define CHAIRS 5
semaphore customers, barbers;
mutex lock
int waiting
```

What guarantees that not too many customer are waiting?

```
barber {
    while (TRUE) {
        semWait(customers);
        mutexLock(lock);
        waiting = waiting-1;
        semSignal(barbers);
        mutexUnlock(lock);
        cutHair();
    }
}
```

```
customer {
    mutexLock(lock);
    if (waiting < chairs) {
        waiting = waiting+1;
        semSignal(customers);
        mutexUnlock(lock);
        semWait(barbers);
        getHaircut();
    else {
        mutexUnlock(lock);
    }
```

Limits number of customers

Too many customers? Then leave!

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Sleeping Barber

```
#define CHAIRS 5
semaphore customers, barbers;
mutex lock
int waiting
```

```
barber {
    while (TRUE) {
        semWait(customers);
        mutexLock(lock);
        waiting = waiting-1;
        semSignal(barbers);
        mutexUnlock(lock);
        cutHair();
    }
}
```

Signal one customer at a time

What guarantees that there is only one customer in the chair?

```
customer {
    mutexLock(lock);
    if (waiting < chairs) {
        waiting = waiting+1;
        semSignal(customers);
        mutexUnlock(lock);
        semWait(barbers);
        getHaircut();
    else {
        mutexUnlock(lock);
    }
```

Wait on barber

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Sleeping Barber

```
#define CHAIRS 5
semaphore customers, barbers;
mutex lock
int waiting
```

```
barber {
    while (TRUE) {
        semWait(customers);
        mutexLock(lock);
        waiting = waiting-1;
        semSignal(barbers);
        mutexUnlock(lock);
        cutHair();
    }
}
```

```
customer {
    mutexLock(lock);
    if (waiting < chairs) {
        waiting = waiting+1;
        semSignal(customers);
        mutexUnlock(lock);
        semWait(barbers);
        getHaircut();
    else {
        mutexUnlock(lock);
}
```

What guarantees that the barber doesn't miss a customer?

https://courses.engr.illinois.edu/cs241/fa2011/lectures/final/17-ClassicSynch.ppt

Cigarette Smokers Problem

There are four processes in this problem: three smoker processes and an agent process.
Each of the smoker processes will make a cigarette and smoke it. To make a cigarette requires tobacco, paper, and matches.
Each smoker process has one of the three items. I.e., one process has tobacco, another has paper, and a third has matches.
The agent has an infinite supply of all three.
The agent places two of the three items on the table, and the smoker that has the third item makes the cigarette.
Synchronize the processes.

http://www.cs.umd.edu/~hollings/cs412/s96/synch/smokers.html

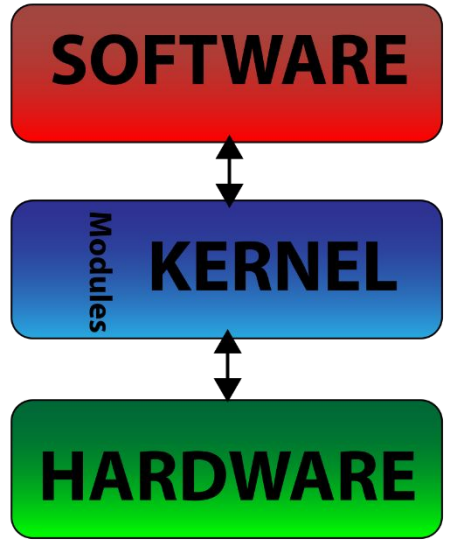
Idee per progetti BONUS

- Implementazione in C usando Pthreads e semafori per il problema sleeping barber
- Implementazione in C usando Pthreads e semafori del problema dining philosephers
- Implementazione in C usando Pthreads e semafori del problema cigarette smokers

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA BASILICATA

Corso di Sistemi Operativi
A.A. 2019/20

Esempi di sincronizzazione



Docente:
Domenico Daniele Bloisi

Ottobre 2019