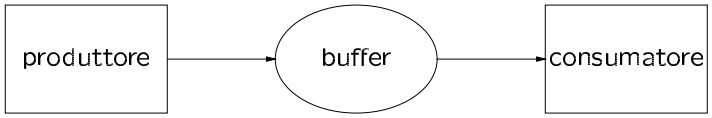
Ricordate!

Il diario delle lezioni e il forum sono accessibili da

http://matteo.vaccari.name/so/

Problema dei *Produttori e Consumatori*



buffer di dimensione limitata

il produttore deve attendere se il buffer è pieno

il consumatore deve attendere se il buffer è vuoto

Produttori e Consumatori, cont.

```
void producer() {
  while (1) {
    item = produce_item();
    insert_item(item);

  }
}
```

```
void consumer() {
  while (1) {

    item = remove_item();
    consume_item(item);
  }
}
```


Soluzione con mutex, sleep e wakeup

```
void producer() {
  while (1) {
    if (N == count) sleep();
    item = produce_item();
    lock(m);
    insert_item(item);
    count++;
    if (1 == count) wakeup(consumer);
    unlock(m);

  }
}
```

```
void consumer() {
  while (1) {
    if (0 == count) sleep();

    lock(m);
    item = remove_item();
    count--;
    if (N-1 == count) wakeup(producer)
    unlock(m);
    consume_item(item);
  }
}
```

Problema: *lost wakeup*

Se il wakeup viene eseguito *prima* che l'altro processo esegua *sleep*?

Soluzione di Java, e di Posix Threads
- sleep si può eseguire solo se ho il lock di un mutex
- eseguendo sleep perdo il lock

Portiamo la sleep dentro la CS (Java, Posix Threads)

```
void producer() {
  while (1) {
    item = produce_item();
    lock(m);
    if (N == count) sleep();
    insert_item(item);
    count++;
    if (1 == count) wakeup(consumer);
    unlock(m);

  }
}
```

```
void consumer() {
  while (1) {

    lock(m);
    if (0 == count) sleep();
    item = remove_item();
    count--;
    if (N-1 == count) wakeup(producer)
    unlock(m);
    consume_item(item);
  }
}
```


E se ci sono più di due threads?

```
void producer() {
  while (1) {
    item = produce_item();
    lock(m);
    while (N == count) sleep();
    insert_item(item);
    count++;
    if (1 == count) wakeup(consumer);
    unlock(m);

  }
}
```

```
void consumer() {
  while (1) {

    lock(m);
    while (0 == count) sleep();
    item = remove_item();
    count--;
    if (N-1 == count) wakeup(producer)
    unlock(m);
    consume_item(item);
  }
}
```


Semafori

- Dijkstra, 1965
- Due operazioni: down e up *atomiche per definizione*
- Down:
  - se sem $>$ 0 allora
  - decrementa sem
  - altrimenti
  - sospendi il thread corrente
- Up:
  - se ci sono thread in attesa sul semaforo
  - svegliane uno
  - altrimenti
  - incrementa sem

Mutua esclusione con semafori

```
/* il semaforo è una variabile globale */
semaphore sem = 1;

/* codice eseguito da ciascun thread: */
  while (1) {
    DoSomeWork();
    DOWN(sem);
    EnterCriticalSection();
    UP(sem);
  }
```


Produttori-consumatori con semafori

```
semaphore mutex = 1;
semaphore free = N;
semaphore busy = 0;

void producer() {
  while (1) {
    item = produce_item();
    down(free);
    down(mutex);
    insert_item(item);
    up(mutex);
    up(busy);

  }
}
```

```
void consumer() {
  while (1) {

    down(busy);
    down(mutex);
    item = remove_item();
    up(mutex);
    up(free);
    consume_item(item);
  }
}
```


Strutture dati thread-safe

Una struttura dati è thread safe solo se:

- l'accesso è consentito solo tramite apposite procedure
- l'accesso di più thread concorrenti non crea problemi

Meglio nascondere il codice di sincronizzazione nelle procedure di accesso ai dati, piuttosto che nel codice dei thread come fa Tanenbaum


```
ITEM buf[N+1];
int head = 0;
int tail = 0;
semaphore mutex = 1;
semaphore free = N;
semaphore busy = 0;

void enter_item(ITEM it) {
  down(free);
  down(mutex);
  buf[tail] = it;
  tail = (tail+1) % (N+1);
  up(mutex);
  up(busy);
}
```

```
ITEM remove_item() {
  ITEM it;
  down(busy);
  down(mutex);
  it = buf[head];
  head = (head+1) % (N+1);
  up(mutex);
  up(free);
  return it;
}
```

Monitor: Tony Hoare (1974), Per Brinch Hansen (1975)

Esempio di monitor:

```
monitor example;
  integer i;
  condition c;

  procedure producer;
  ...
  end;

  procedure consumer;
  ...
  end;
end monitor;
```

le var del monitor sono *private*

la mutua esclusione è garantita

le var di tipo *condition* supportano le op *wait* e *signal*

Un punto cruciale

La mutua esclusione non basta

Occorre poter bloccare i processi

```
condition c;
...
wait(c);
...
signal(c);
```


Cosa succede quando un thread esegue signal(c)?

Hoare: il processo che esegue signal viene bloccato

Hansen: la signal deve apparire come ultima istruzione

Gosling (Java): il processo svegliato è fuori dalla sezione critica

Producer-consumer con monitor

```
monitor ProducerConsumer
  condition c;
  integer count;
  procedure insert(item: integer)
  begin
    while count = N do wait(c);
    insert_item(item);
    count := count + 1;
    if count = 1 then signal(c);
  end;

  function remove: integer
  begin
    while count = 0 do wait(c);
    remove = remove_item;
    count := count - 1;
    if count = N-1 then signal(c);
  end;
end monitor;
```

```
procedure producer;
begin
  while true do
  begin
    item := produce_item;
    ProducerConsumer.insert(item);
  end
end;

procedure consumer;
begin
  while true do
  begin
    item := ProducerConsumer.remove;
    consume_item(item);
  end
end;
```

Java implementa il concetto di *monitor*

Mutua esclusione: occorre dichiarare *synchronized*

Condition variables: qualunque oggetto supporta *wait* e *notify*

Occorre essere *sincronizzati* sull'oggetto prima

Altrimenti: IllegalMonitorStateException

Equivalenza fra semafori e monitor

```
monitor semaphore
  condition c;
  integer n = 0;

  procedure up
  begin
    n := n + 1;
    signal(c);
  end

  procedure down
  begin
    while n = 0 do wait(c);
    n := n - 1;
  end
end monitor;
```

Posso implementare un semaforo come monitor

Posso implementare un monitor con i semafori

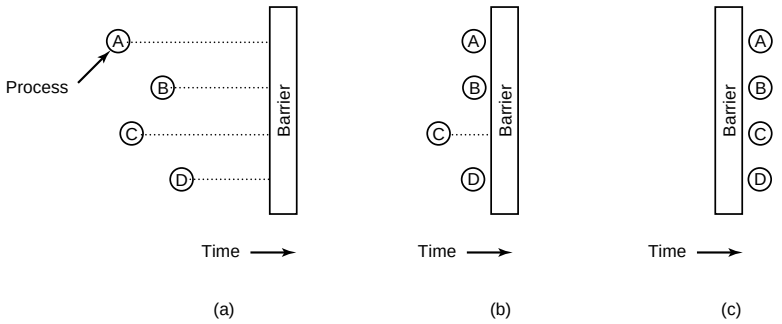
mutua esclusione: facile, uso un semaforo *mutex* per ogni monitor

- metto down(mutex) all'ingresso di ogni metodo
- e up(mutex) all'uscita

variabili condition: le implemento con un array di semafori

- un semaforo $\forall$ processo $\forall$ condition
- wait: down(sem[pid])
- signal: foreach (pid in P) up(sem[pid])

Barriere



Esercizio

Implementare le barriere per mezzo di:
- monitor (facile)
- semafori (leggermente meno facile)

message passing

Problema: sincronizzare processi senza memoria condivisa

Soluzione: *message passing*

send(destinazione, messaggio)

receive(destinazione, messaggio)

Problemi del message passing

- canali inaffidabili
- naming
- autenticazione

se i processi sono locali:
- performance

Message passing: sincrono o asincrono?

Sincrono:
- se la send è eseguita prima
- $\Rightarrow$ si blocca fino alla esecuzione di receive
- e viceversa

"Rendez-vouz"

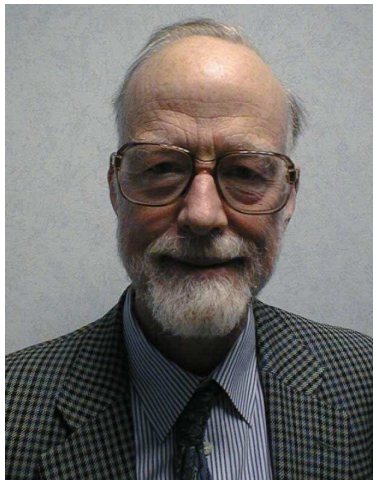
Esempio: Ada

Message passing: sincrono o asincrono?

Asincrono:

- send e receive non bloccano ...
- (ho una *coda* di messaggi)
- ... a meno che la coda non sia piena (send) o vuota (receive)

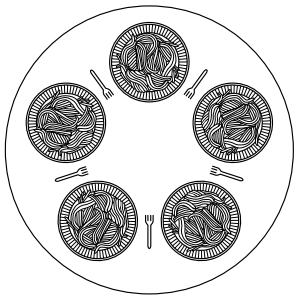

```
#define N 100                                   /* number of slots in the buffer */

void producer(void)
{
     int item;
     message m;                                 /* message buffer */

     while (TRUE) {
          item = produce_item( );               /* generate something to put in buffer */
          receive(consumer, &m);                /* wait for an empty to arrive */
          build_message(&m, item);              /* construct a message to send */
          send(consumer, &m);                   /* send item to consumer */
     }
}

void consumer(void)
{
     int item, i;
     message m;

     for (i = 0; i < N; i++) send(producer, &m);  /* send N empties */
     while (TRUE) {
          receive(producer, &m);                /* get message containing item */
          item = extract_item(&m);              /* extract item from message */
          send(producer, &m);                   /* send back empty reply */
          consume_item(item);                   /* do something with the item */
     }
}
```

Charles Anthony Richard Hoare, (1934–)

Problemi classici di sincronizzazione

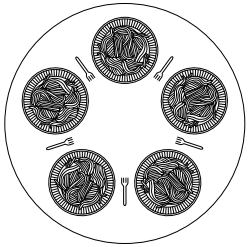
Il problema dei filosofi a cena



(Dijkstra, 1965)

Il problema dei filosofi a cena

Per mangiare occorrono 2 forchette
Le forchette vanno acquisite una per volta
Come prevenire lo stallo?



Una non-soluzione

```
#define N 5
void philosopher(int n) {
  while (1) {
    think();
    take_fork(n);
    take_fork((n+1) % N);
    eat();
    put_fork(n);
    put_fork((n+1) % N);
  }
}
```


Un'altra non-soluzione:

```
void philosopher(int n) {
  while (1) {
    think();
    while (1) {
      take_fork(n);
      if (available((n+1) % N)) {
        take_fork((n+1) % N);
        break;
      } else {
        put_fork(n);
        put_fork((n+1) % N);
      }
    };
    eat();
    put_fork(n);
    put_fork((n+1) % N);
  }
}
```


Si può migliorare...

inserendo un ritardo scelto in modo casuale

$\Rightarrow$ riduco la probabilità di *starvation*

algoritmo usato sulla rete *Ethernet*

... ma noi vogliamo una soluzione deterministica

La soluzione ovvia

```
#define N 5
semaphore mutex = 1;
void philosopher(int n) {
  while (1) {
    think();
    down(mutex);
    take_fork(n);
    take_fork((n+1) % N);
    eat();
    put_fork(n);
    put_fork((n+1) % N);
    up(mutex);
  }
}
```

Qual'è il problema di questa soluzione?

...il problema è che...

Consente di mangiare ad un filosofo solo per volta

Proviamo ancora

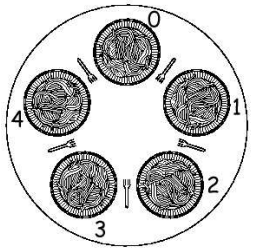
```
#define N 5
semaphore mutex = 4;
void philosopher(int n) {
  while (1) {
    think();
    down(mutex);
    take_fork(n);
    take_fork((n+1) % N);
    eat();
    put_fork(n);
    put_fork((n+1) % N);
    up(mutex);
  }
}
```

Va meglio?

...sì ma se...

filosofo 0 sta mangiando;
filosofo 1 sta aspettando la forch. destra;
filosofo 2 sta aspettando la forch. destra;

fil. 2 non può mangiare



Altra soluzione: ordiniamo le risorse

Le forchette vanno prese in ordine crescente

⇒ fil. 0: prima forchetta 0, poi forchetta 1

⇒ fil. 1: prima 1, poi 2

...

⇒ fil. 4: prima 0, poi 4

stallo: impossibile

parallelismo: non ottimale!

Soluzione ottimale (Dijkstra, 1965)

```
#define LEFT     ((i+N-1) % N)
#define RIGHT    ((i+1)   % N)
#define THINKING 0
#define HUNGRY   1
#define EATING   2

int state[N];
semaphore mutex = 1;
semaphore s[N] = { 0, 0, ..., 0 };
```

```
void philosopher(i) {
  while (1) {
    think();
    take_forks(i);
    eat();
    put_forks(i);
  }
}
```


Soluzione di Dijkstra, cont.

```
void take_forks(int i) {
  down(mutex);
  state[i] = HUNGRY;
  test(i);
  up(mutex);
  down(s[i]);
}
```

```
void put_forks(int i) {
  down(mutex);
  state[i] = THINKING;
  test(LEFT);
  test(RIGHT);
  up(mutex);
}
```

```
void test(int i) {
  if (HUNGRY == state[i] &&
      EATING != state[LEFT] && EATING != state[RIGHT])
  {
    state[i] = EATING;
    up(s[i]);
  }
}
```


Problemi della programmazione concorrente

- race conditions
- deadlock
- starvation
- livelock

Problema: *Readers and Writers*

Accesso condiviso a una risorsa (es. tabella di database)

Accesso consentito a:

- *un solo* scrittore, oppure
- un numero illimitato di lettori

Readers and writers, soluzione

```
semaphore mutex = 1;
semaphore db = 1;
int rc = 0;

void reader() {
  while (1) {
    down(mutex);
    rc++;
    if (1 == rc) down(db);
    up(mutex);

    read_data_base();

    down(mutex);
    rc--;
    if (0 == rc) up(db);
    up(mutex);
  }
}
```

```
void writer() {
  while (1) {
    think_up_data();
    down(db);
    write_data_base();
    up(db);
  }
}
```


Esercizio: shell program

Pseudocodice:

```
while (1) {
   print prompt
   read command line
   parse command
   find file
   execute command
}
```


Alcuni comandi sono “built-in”; altri no

```
while (1) {
   print prompt
   read command line
   parse command
   if (built-in) {
      execute command
   } else {
      find file
      fork()
      if (in parent) wait()
      else exec()
   }
}
```

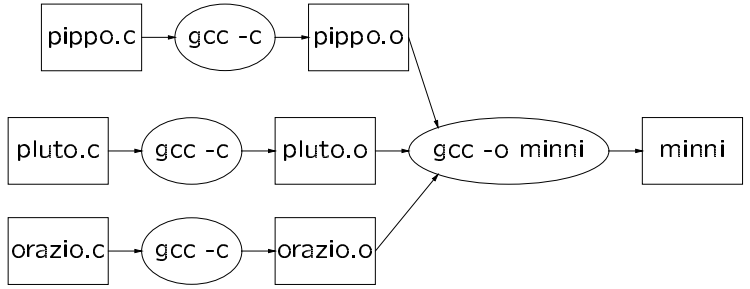
Find file

Le variabili di ambiente (environment) sono passate ai processi figli

La variabile PATH identifica le dir che contengono eseguibili

Es: PATH=/bin;/usr/bin;/usr/X11R6/bin;/usr/local/bin

Il sistema di programmazione C



Un sistema per la manutenzione di programmi

Il comando "make(1)"

esempio di *makefile*

```
OBJ = pippo.o pluto.o orazio.o
minni: $(OBJ)
        gcc -o minni $(OBJ)
```

strumento fondamentale per compilare Linux

gcc: compiler driver

Fornisce un interfaccia (command line) ai compilatori e al linker

Documentazione:
- man gcc
- info gcc (più estesa)

Alcune opzioni utili per gcc
-c: crea il .o; non linkare
-g: informazioni per il debug
-O: ottimizza
-Wall: massimo dei warning
-S: lascia i file assembler
-v: mostra i comandi generati per le varie fasi

Debugger

Il debugger GNU si chiama gdb

Interfaccia grafica: ddd