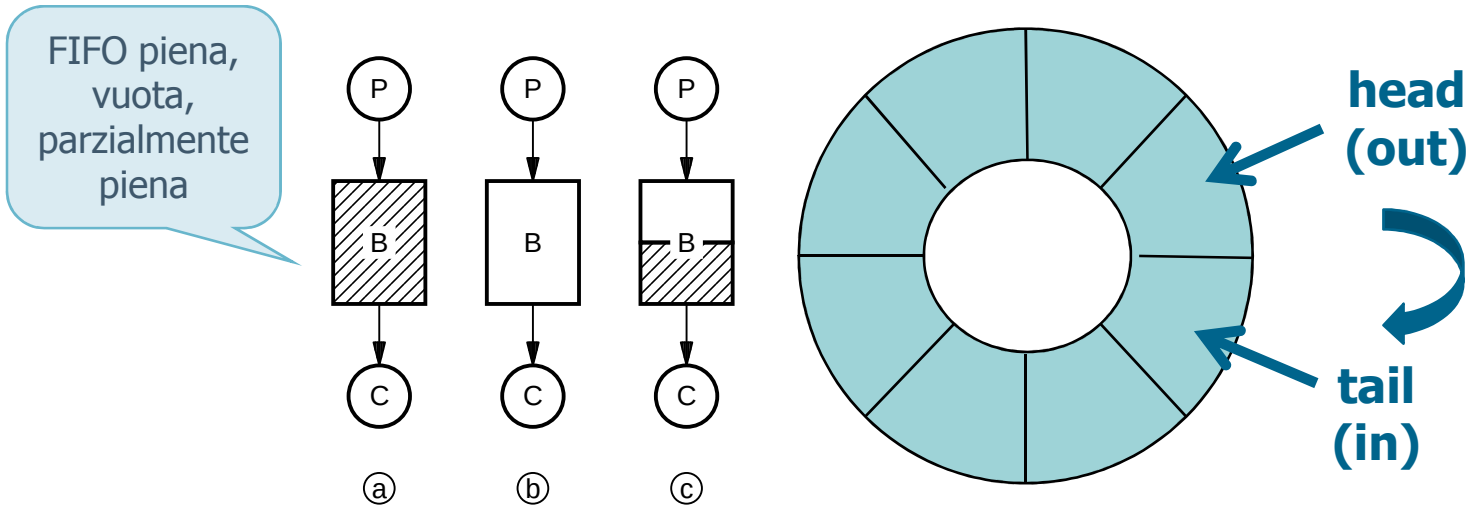
Sincronizzazione

Problemi di sincronizzazione tipici

Stefano Quer
Dipartimento di Automatica e Informatica
Politecnico di Torino

Produttore-Consumatore

- Produttore e consumatore con memoria limitata
  - Utilizza un buffer circolare di dimensione **SIZE** per memorizzare gli elementi prodotti e da consumare
  - Il buffer circolare implementa una coda (queue) FIFO (First-In First-Out)



Accesso sequenziale

```
#define SIZE ...
...
int queue[SIZE];
int tail, head;
...
void init () {
  tail = 0;
  head = 0;
  n = 0;
}
```

FIFO standard (non ADT)

```
void enqueue (int val) {
  if (n>SIZE) return;
  queue[tail] = val;
  tail=(tail+1)%SIZE;
  n++;
  return;
}
```

```
void dequeue (int *val) {
  if (n<=0) return;
  *val=queue[head];
  head=(head+1)%SIZE;
  n--;
  return;
}
```

Accesso sequenziale vs parallelo

- Nell'accesso sequenziale enqueue e dequeue non sono mai contemporanee
- Nell'accesso parallelo si possono avere due casi
  - 1 solo produttore e 1 solo consumatore
    - Operazioni di enqueue e dequeue agiscono su estremità diverse della coda ma la variabile n è comunque condivisa
  - P produttori e C consumatori
    - Come il caso precedente con in più operazioni di accesso sullo stesso estremo della coda

Accesso concorrente: Versione 1

- Per un accesso parallelo con 1 produttore e 1 consumatore
  - Occorre inserire
    - Un semaforo "full" che conta il numero di elementi pieni
    - Un semaforo "empty" che conta il numero di elementi vuoti
  - Il contatore n può essere eliminato

Accesso concorrente: Versione 1

```
#define SIZE ...
...
int queue[SIZE];
int tail, head;
...
void init () {
  tail = 0;
  head = 0;
}
```

FIFO standard (non ADT) senza la variabile n

```
void enqueue (int val) {
  queue[tail] = val;
  tail=(tail+1)%SIZE;
  return;
}
```

```
void dequeue (int *val) {
  *val=queue[head];
  head=(head+1)%SIZE;
  return;
}
```

Accesso concorrente: Versione 1

1 Produttore
1 Consumatore

Invece di n utilizza
Elementi pieni
Elementi vuoti

```
init (full, 0);
init (empty, SIZE);
```

```
Producer () {
  int val;
  while (TRUE) {
    produce (&val);
    wait (empty);
    enqueue (val);
    signal (full);
  }
}
```

```
Consumer () {
  int val;
  while (TRUE) {
    wait (full);
    dequeue (&val);
    signal (empty);
    consume (val);
  }
}
```

Accesso concorrente: Versione 2

- La soluzione 1 è simmetrica
  - Il produttore produce posizioni piene
  - Il consumatore produce posizioni vuote
- Può essere facilmente **estesa** al caso in cui coesistano più produttori e più consumatori
  - Produttori e consumatori operano su estremità opposte del buffer
    - Possono farlo **contemporaneamente**
    - Purchè la coda non sia piena oppure vuota
  - Due produttori oppure due consumatori devono invece agire in **mutua esclusione**

Accesso concorrente: Versione 2

P Produttori
C Consumatori

```
init (full, 0);
init (empty, SIZE);
init (MEp, 1);
init (MEc, 1);
```

Occorre forzare ME tra P e tra C

```
Producer () {
  int val;
  while (TRUE) {
    produce (&val);
    wait (empty);
    wait (MEp);
    enqueue (val);
    signal (MEp);
    signal (full);
  }
}
```

```
Consumer () {
  int val;
  while (TRUE) {
    wait (full);
    wait (MEc);
    dequeue (&val);
    signal (MEc);
    signal (empty);
    consume (val);
  }
}
```

Readers & Writers

- Problema classico
  - Courtois et al. [1971]
  - Condividere un base dati tra due insiemi di processi concorrenti
    - Una classe di processi detta **Reader** a cui è consentito accedere a un data-base in **concorrenza**
    - Una classe di processi detta **Writer** a cui è consentito accedere al data-base in **mutua esclusione** sia con altri processi Writers sia con i processi Readers
  - Costrutto spesso utilizzato per verificare nuove primitive di sincronizzazione

Readers & Writers

- Esistono due versioni del problema
  - Primo problema o problema con precedenza ai reader
  - Secondo problema o problema con precedenza ai writer
- Obiettivi comuni
  - Rispettare il protocollo di precedenza
  - Massimizzare la concorrenza

Precedenza ai reader

- Dare precedenza ai reader significa
  - Privilegiare l'accesso dei reader rispetto a quello dei writer ovvero
  - I reader non devono attendere a meno che un writer sia nella SC
- Protocollo di accesso
  - I reader possono accedere in concorrenza al data-base
  - Sino a quando arrivano reader i writer attendono
  - Quando anche l'ultimo reader termina allora si può svegliare un writer (o un reader ... dipende dallo scheduler)

Precedenza ai reader: Versione 1

```
nR = 0;
init (meR, 1);
init (w, 1);
```

Reader

```
wait (meR);
  nR++;
  if (nR==1)
    wait (w);
signal (meR);
...
lettura
...
wait (meR);
  nR--;
  if (nR==0)
    signal (w);
signal (meR);
```

Writer

```
wait (w);
...
scrittura
...
signal (w);
```

Precedenza ai reader: Versione 2

```
nR = 0;
init (meR, 1);
init (meW, 1);
init (w, 1);
```

Reader

```
wait (meR);
  nR++;
  if (nR==1)
    wait (w);
signal (meR);
...
lettura
...
wait (meR);
  nR--;
  if (nR==0)
    signal (w);
signal (meR);
```

Si rafforza la precedenza ai R
(la signal(w) libera un R)

Writer

```
wait (meW);
wait (w);
...
scrittura
...
signal (w);
signal (meW);
```

Conclusioni

- La soluzione utilizza
  - Una variabile globale (nR) che conta il numero di reader nella SC
  - Un semaforo di mutua esclusione per la manipolazione della variabile nR (meR)
  - Un semaforo di mutua eslusione per più writer o per un reader e i writer (w)
  - Un semaforo di mutua eslusione per writer (meW)
- I writer sono soggetti a **starvation**, in quanto possono attendere per sempre
- Sono possibili soluzioni più complesse senza starvation da parte dei W

Precedenza ai writer

- Dare precedenza ai writer significa
  - Un writer pronto deve attendere il meno possibile
- Protocollo di accesso
  - Ogni writer deve attendere che finiscano i reader
  - Ogni writer ha priorità su tutti i reader

Precedenza ai writer

```
nR = nW = 0;
init (w, 1); init (r, 1);
init (meR, 1); init (meW, 1);
```

Reader

```
wait (r);
  wait (meR);
    nR++;
    if (nR == 1)
      wait (w);
  signal (meR);
signal (r);
...
lettura
...
wait (meR);
  nR--;
  if (nR == 0)
    signal (w);
signal (meR);
```

Writer

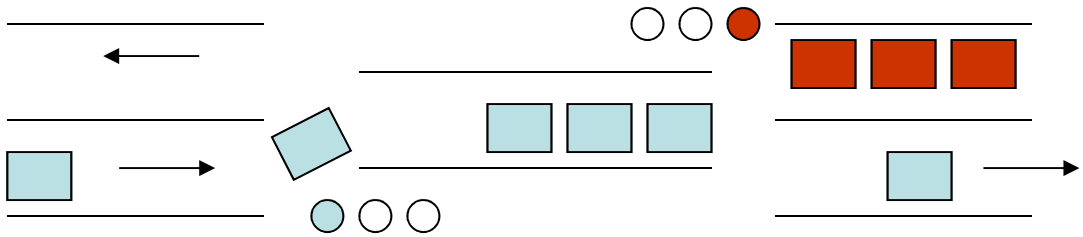
```
wait (meW);
  nW++;
  if (nW == 1)
    wait (r);
signal (meW);
wait (w);
  ...
  scrittura
  ...
signal (w)
wait (meW);
  nW--;
  if (nW == 0)
    signal (r);
signal (meW);
```

Conclusioni

- La soluzione utilizza
  - Due variabili globali (nR e nW) per il conteggio dei reader e dei writer
  - Due semafori di mutua esclusione (meR e meW) per la manipolazione delle variabili nR e nW
  - Due semafori di mutua eslusione reader/writer (r e w)
- I reader sono soggetti a starvation, in quanto possono attendere per sempre
- Sono possibili soluzioni più complesse senza starvation

Il "Tunnel a senso alternato"

- In un tunnel a senso alternato
  - Permettere a qualsiasi numero di auto (processi) di procedere nella stessa direzione
  - Se c'è traffico in una direzione bloccare il traffico nella direzione opposta



Il "Tunnel a senso alternato"

- Estensione del problema dei Readers-Writers con due insiemi di reader
- Struttura dati
  - Due variabili globali di conteggio (n1 e n2), una per ciascun senso di marcia
  - Due semafori (s1 e s2), uno per ciascun senso di marcia
  - Un semaforo globale di attesa (busy)
- Nella sua implementazione base può provocare starvation delle auto in una direzione rispetto all'altra

Soluzione

```
n1 = n2 = 0;
init (s1, 1); init (s2, 1);
init (busy, 1);
```

left2right

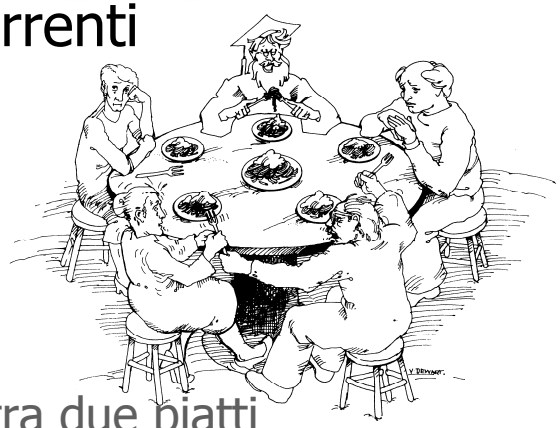
```
wait (s1);
  n1++;
  if (n1 == 1)
    wait (busy);
signal (s1);
...
Run (left to right)
...
wait (s1);
  n1--;
  if (n1 == 0)
    signal (busy);
signal (s1);
```

right2left

```
wait (s2);
  n2++;
  if (n2 == 1)
    wait (busy);
signal (s2);
...
Run (right to left)
...
wait (s2);
  n2--;
  if (n2 == 0)
    signal (busy);
signal (s2);
```

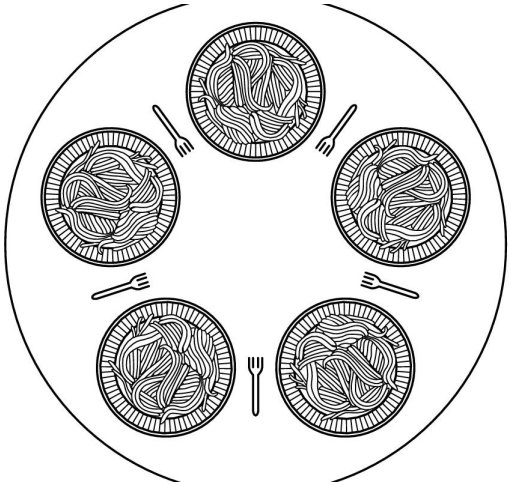
I 5 filosofi

- Modello del caso in cui diverse risorse sono comuni a diversi processi concorrenti
- Dovuto a Dijkstra [1965]
- Definizione del problema
  - Un tavolo è imbandito con
    - 5 piatti di riso
    - 5 bastoncini (cinesi) ciascuno tra due piatti
  - Intorno al tavolo siedono 5 filosofi
  - I filosofi pensano oppure mangiano
    - Per mangiare ogni filosofo ha bisogno di due bastoncini
    - I bastoncini possono essere ottenuti uno alla volta



Modello 0

- Soluzioni "filosofiche"
  - Insegnare ai filosofi a mangiare con 1 solo bastoncino
  - Fornire più di 5 bastoncini
  - Permettere solo al più a 4 filosofi di sedersi al tavolo
  - Forzare asimmetria
    - I filosofi di posizione pari prendono la forchetta sinistra per prima
    - I filosofi di posizione dispari prendono la forchetta destra per prima

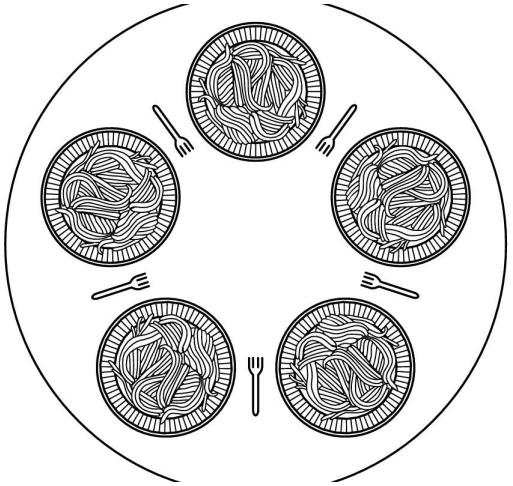


Modello 1

- Utilizzare un unico semaforo binario (mutex) per proteggere l'unica risorsa "cibo"
  - Annulla la concorrenza
  - Un solo filosofo mangia (potrebbero farlo in due)

```
init (mutex, 1);
```

```
while (true) {
  Pensa ();
  wait (mutex);
  Mangia ();
  signal (mutex);
}
```



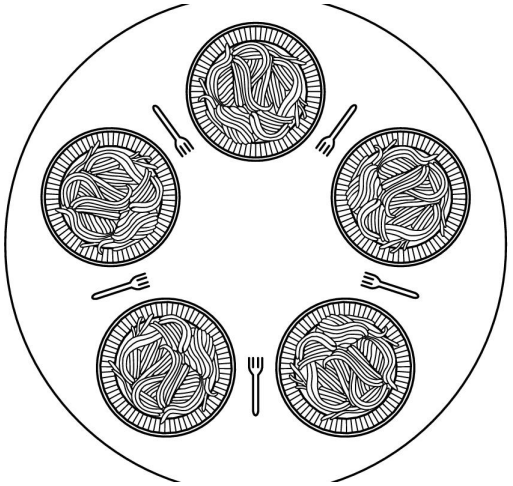
Modello 2

- Avere un semaforo per bastoncino
  - Può causare deadlock

```
init (chopstick[0], 1);
...
init (chopstick[4], 1);
```

```
while (true) {
  Pensa ();
  wait (chopstick[i]);
  wait (chopstick[(i+1)mod5]);
  Mangia ();
  signal (chopstick[i]);
  signal (chopstick[(i+1)mod5]);
}
```

$i \in [0, 4]$



Soluzione

- Struttura dati
  - Uno stato per ogni filosofo (THINKING, HUNGRY, EATING)
  - Un semaforo per ogni filosofo (per l'accesso al cibo)
  - Un semaforo ulteriore unico per l'accesso alla variabile di stato del filosofo stesso

```
while (TRUE) {
  think ();
  takeForks (i);
  eat ();
  putForks (i);
}
```

Soluzione

```
int state[N]
init (mutex, 1);
init (sem[0], 0); ...; init (sem[4], 0);
```

```
takeForks (int i) {
  wait (mutex);
  state[i] = HUNGRY;
  test (i);
  signal (mutex);
  wait (sem[i]);
}
```

```
putForks (int i) {
  wait (mutex);
  state[i] = THINKING;
  test (LEFT);
  test (RIGHT);
  signal (mutex);
}
```

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