

# **Il monitor**

# Il costrutto monitor [Hoare '74]

**Definizione:** Costrutto sintattico che associa un insieme di operazioni (**entry**, o *public*) ad una struttura dati comune a più processi, tale che:

- Le operazioni **entry** siano le sole operazioni **permesse** su quella struttura.
- Le operazioni **entry** siano **mutuamente esclusive**: un solo processo per volta può essere attivo nel monitor.

## Struttura del Monitor (*pseudocodice*)

```
monitor tipo_risorsa {  
    <dichiarazioni variabili locali>;  
    <inizializzazione variabili locali>;  
  
    entry void op1 ( ) {  
        <corpo della operazione op1 >;  
    }  
    ...  
    entry void opn ( ) {  
        <corpo della operazione opn>;  
    }  
  
    <eventuali operazioni non entry>  
}
```

- Le variabili locali sono **accessibili solo all'interno del monitor**.
  - Le **operazioni entry (o public)** sono **le sole operazioni** che possono essere utilizzate dai processi per accedere alle variabili locali. L'accesso avviene in **modo mutuamente esclusivo**.
  - Le **variabili locali** mantengono il loro valore tra successive esecuzioni delle operazioni del monitor (variabili permanenti).
  - Le operazioni **non** dichiarate **entry** non sono accessibili dall'esterno. Sono invocabili solo all'interno del monitor (dalle funzioni entry e da quelle non entry).
-

## Esempio (*pseudocodice*)

```
tipo_risorsa ris;
```

- crea una istanza del monitor, cioè una struttura dati organizzata secondo quanto indicato nella dichiarazione dei dati locali.

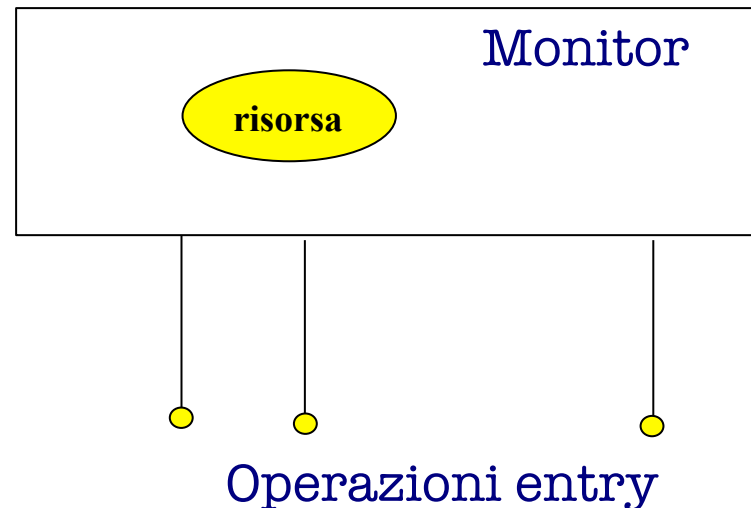
```
ris.opi(...);
```

- chiamata di una generica operazione dell'oggetto **ris**.

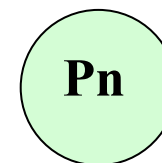
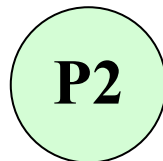
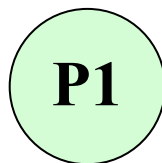
# Uso del monitor

Solitamente, al monitor è associata una risorsa:

Scopo del monitor è **controllare l'accesso alla risorsa** da parte processi concorrenti, in accordo a determinate politiche. Le variabili locali definiscono lo stato della risorsa associata al monitor.



1 solo processo alla volta può “entrare” (i.e. eseguire una entry) nel monitor.



L'accesso alla risorsa avviene **tramite il monitor**, che garantisce **due livelli di sincronizzazione**:

1. Il **primo** garantisce che un solo processo alla volta possa aver accesso al monitor. Ciò è ottenuto garantendo che le operazioni **entry** siano eseguite in **mutua esclusione** (eventuale sospensione dei processi nella coda **entry queue**).

2. Il **secondo** controlla l'**ordine** con il quale i processi hanno accesso alla risorsa. La procedura chiamata verifica il soddisfacimento di una condizione logica (**condizione di sincronizzazione**) che assicura l'ordinamento. Se la condizione logica non è soddisfatta, il processo viene posto **in attesa** ed il monitor viene liberato.

# Monitor: sincronizzazione dei processi

**Esempio:** allocazione di una risorsa con priorità

```
monitor Risorsa()
```

```
{ boolean risorsa_libera=true;
```

```
  int turno=..;
```

```
  ...
```

```
  entry void acquisizione(int id)
```

```
  {  if (turno!=id)
```

```
      <il processo esce dal monitor e aspetta >
```

```
      risorsa_libera=false;
```

```
      <attribuzione nuovo valore a turno>
```

```
  }
```

```
  entry void rilascio(int id)
```

```
  {  risorsa_libera=true;
```

```
      <eventuale attribuzione nuovo valore a turno>
```

```
      <risveglia il più prioritario tra i proc. in attesa>
```

```
  }
```

```
}
```



# Monitor: sincronizzazione dei processi

- Il **primo livello** di sincronizzazione (mutua esclusione) viene realizzato direttamente dal linguaggio: ogni primitiva **entry** è sempre mutuamente esclusiva.
- Il **secondo livello** di sincronizzazione viene realizzato dal programmatore in base alle politiche di accesso date, sfruttando un nuovo strumento di sincronizzazione: la **variabile condizione** (**condition**):
  - L'accesso alla risorsa controllata dal monitor (da parte di un processo che esegue una entry) è vincolato al soddisfacimento di una **condizione di sincronizzazione**;
  - Nel caso in cui la condizione di sincronizzazione non sia verificata, il processo **si sospende** liberando il monitor; la sospensione del processo avviene tramite una **variabile condizione**.

## Variabili tipo condizione

Una variabile **condizione** rappresenta una coda nella quale i processi possono sospendersi (se la condizione di sincronizzazione non è verificata).

Definizione di una variabile **cond** di tipo condizione:

```
condition cond;
```

### Operazioni sulle variabili condition:

- E' possibile applicare ad ogni variabile condizione due operazioni:

```
wait (cond) ;
```

```
signal (cond) ;
```

# Operazioni sulle variabili condizione

## wait:

- L'esecuzione dell'operazione **wait(cond)** **sospende** il processo, introducendolo nella coda individuata dalla variabile **cond**, e il monitor viene liberato. Al risveglio, il processo riacquisisce l'accesso mutamente esclusivo al monitor e riprende l'esecuzione.

## signal:

- L'esecuzione dell'operazione **signal(cond)** **riattiva** un processo in attesa nella coda individuata dalla variabile **cond**; se non vi sono processi in coda, non produce effetti.

# Monitor: uso di wait e signal

## Esempio:

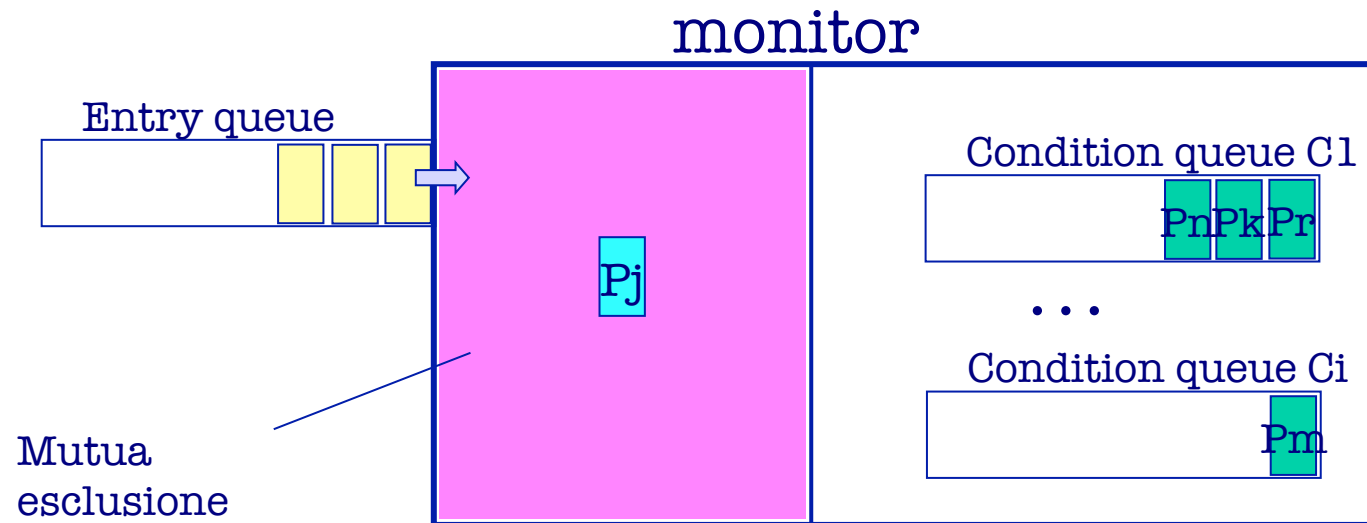
```
monitor Risorsa()
{  boolean risorsa_libera=true;
   condition C;
   int turno=..;
   ...
   entry void acquisizione(int id)
   {   while (turno!=id)
        C.wait();
        risorsa_libera=false;
        <attribuzione nuovo valore a turno>
    }
   entry void rilascio(int id)
   {   risorsa_libera=true;
        <eventuale attribuzione nuovo valore a turno>
        C.signal();
    }}
}
```

# Accesso al monitor: code

Il controllo nell'accesso al monitor viene esercitato tramite la sospensione dei processi in alcune code:

**Primo livello** (mutua esclusione): se un processo che vuole accedere al monitor (tramite un'operazione entry) lo trova occupato, esso viene sospeso nella entry queue

**Secondo livello**: se la condizione di sincronizzazione di un processo che esegue nel monitor (tramite un'operazione entry) non è soddisfatta, esso viene sospeso nella condition associata alla condizione di sincronizzazione (condition queue).



# Semantiche dell'operazione signal



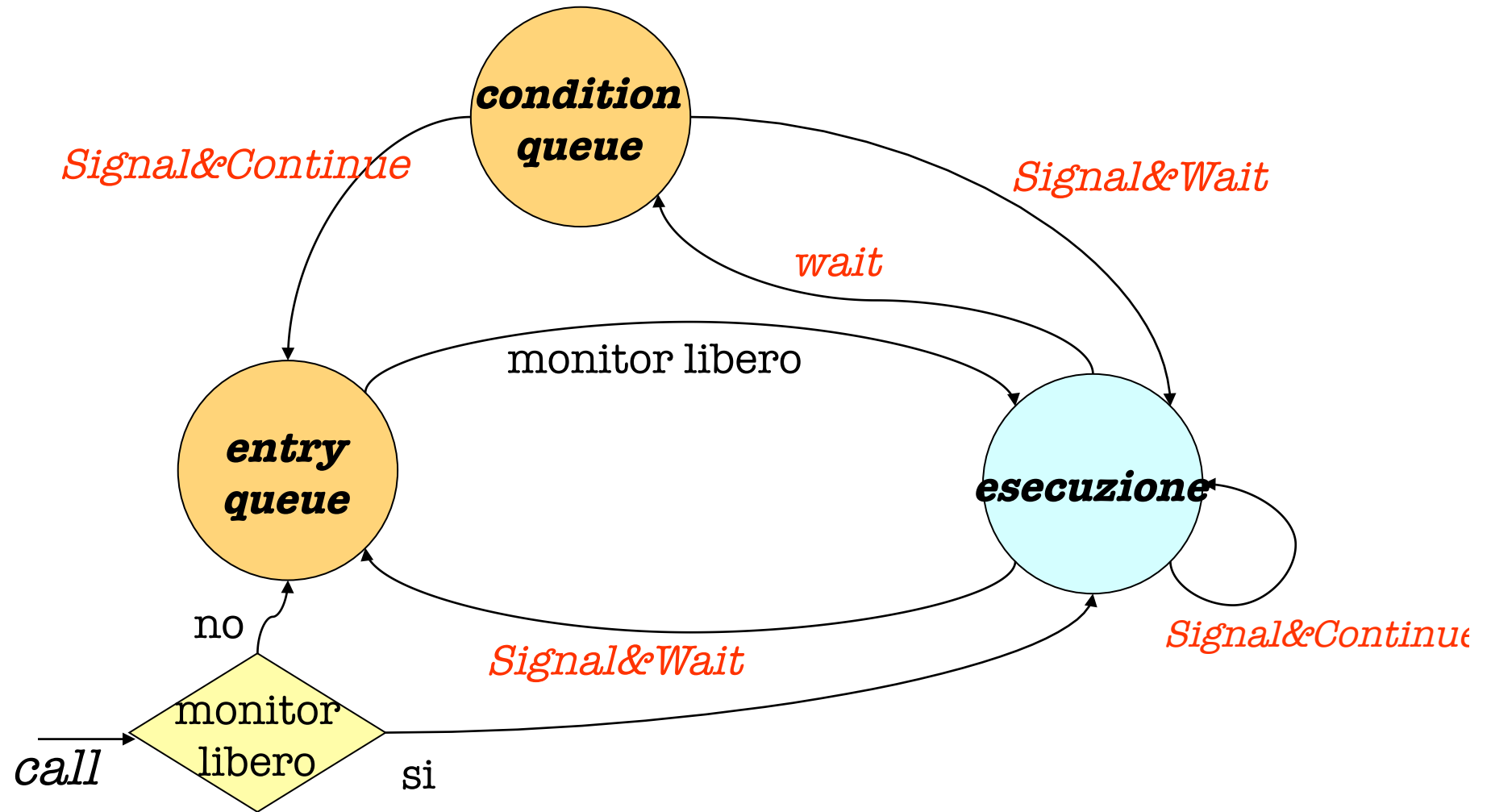
Come conseguenza della `signal` entrambi i processi, quello segnalante Q e quello segnalato P, **possono concettualmente proseguire la loro esecuzione.**

## Possibili strategie:

***signal\_and\_wait.*** P riprende immediatamente l'esecuzione ed il processo **Q viene sospeso.**

***signal\_and\_continue.*** **Q prosegue** la sua esecuzione mantenendo l'accesso esclusivo al monitor, dopo aver *risvegliato* il processo .

# Semantiche della signal



## Signal\_and\_wait

- Q si sospende nella coda dei processi che attendono di usare il monitor (**entry queue**).
- Il primo processo ad operare nel monitor dopo la signal è certamente P:
  - » Non è possibile che Q o altri processi possano modificare la condizione di sincronizzazione prima che P termini l'esecuzione della operazione entry.



## **signal\_and\_continue**

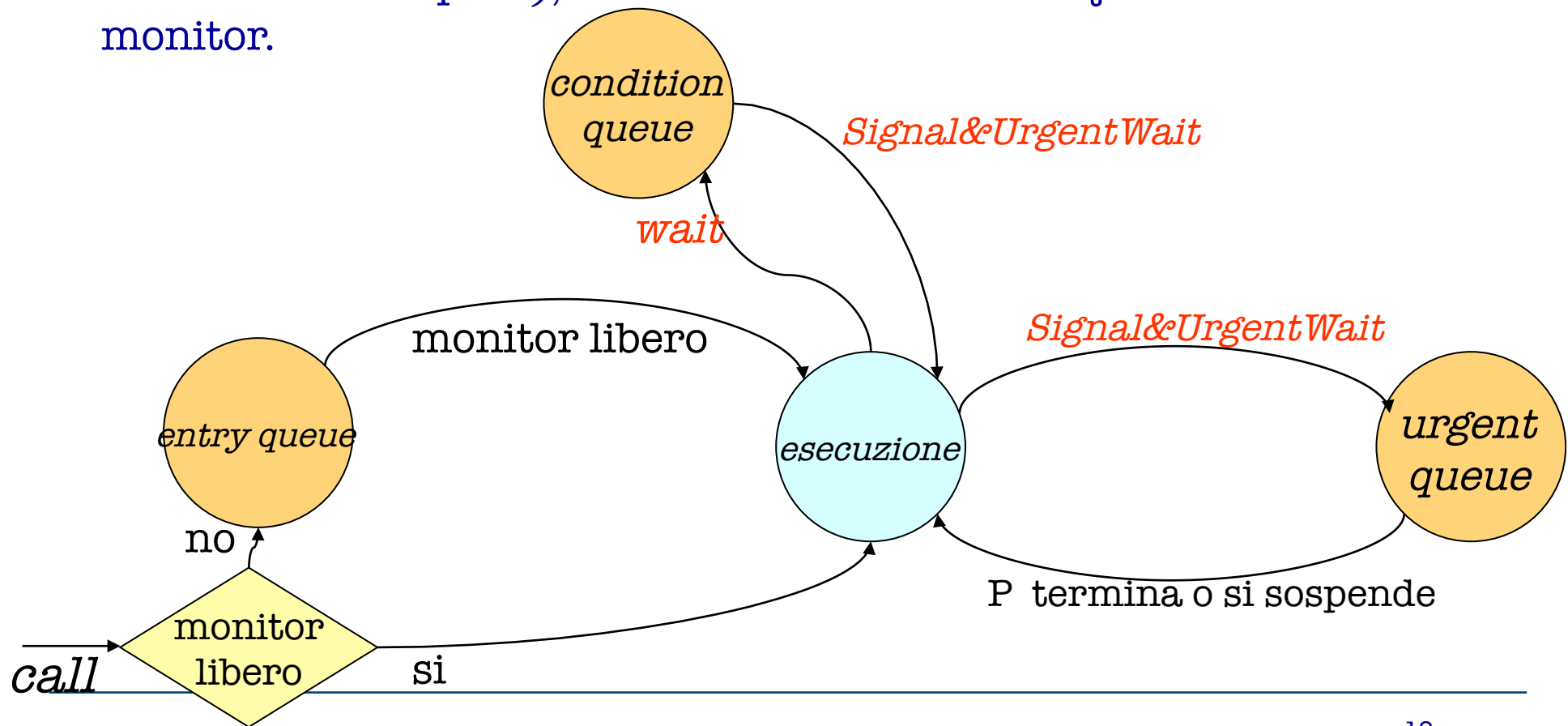
- Il processo segnalato P viene trasferito dalla coda associata alla variabile condizione alla entry\_queue e potrà rientrare nel monitor una volta che Q l'abbia rilasciato.
- Poiché altri processi possono entrare nel monitor prima di P, questi potrebbero modificare la condizione di sincronizzazione (lo stesso potrebbe fare Q).
- E' pertanto necessario che quando P rientra nel monitor ritesti la condizione:

```
while(!B) wait (cond) ;  
<accesso alla risorsa>
```

# Signal\_and\_urgent\_wait

**signal\_and\_urgent\_wait.** E' una variante della signal\_and\_wait:

Q ha la priorità rispetto agli altri processi che aspettano di entrare nel monitor. Viene quindi sospeso in una coda interna al monitor (*urgent queue*). Quando P ha terminato la sua esecuzione (o si è nuovamente sospeso), trasferisce il controllo a Q senza liberare il monitor.



- Un caso particolare della **signal\_and\_urgent\_wait** (e della `signal_and_wait`) si ha quando essa corrisponde ad una istruzione `return`:  
**signal\_and\_return.**
- Il processo completa cioè la sua operazione con il risveglio del processo segnalato. Cede ad esso il controllo del monitor senza rilasciare la mutua esclusione.

- E' possibile anche **risvegliare tutti i processi** sospesi sulla variabile condizione utilizzando la :

**signal\_all**

che è una variante della signal\_and\_continue.

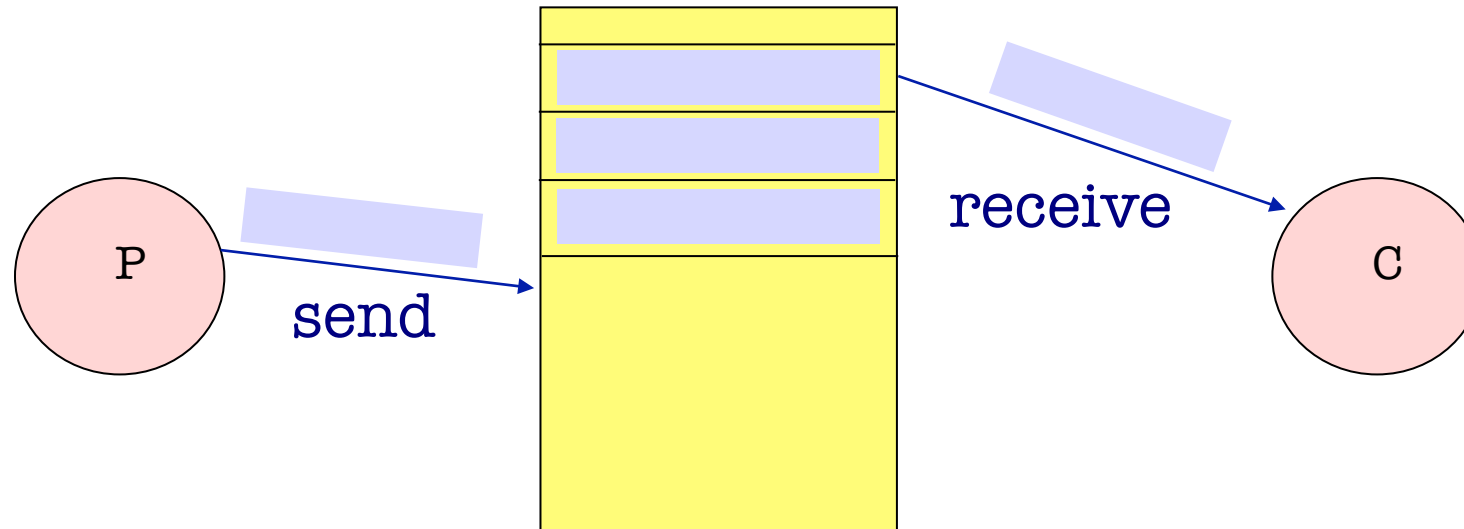
→ Tutti i processi risvegliati vengono messi nella entry\_queue dalla quale, uno alla volta potranno rientrare nel monitor.

# Esempio: monitor come *gestore* di risorse (mailbox)

Utilizziamo il monitor per risolvere il problema della comunicazione tra processi mediante un buffer di dimensione  $N$  (“***produttori e consumatori***”):

- ❑ la struttura dati che rappresenta il buffer **fa parte delle variabili locali al monitor** e quindi le operazioni *Send* e *Receive* possono accedere solo in modo **mutuamente esclusivo** a tale struttura.
- ❑ il monitor rappresenta il buffer dei messaggi (gestito in modo circolare)
- ❑ i processi Produttori (o Consumatori) inseriranno (o preleveranno) i messaggi mediante le funzioni entry *Send* (o *Receive*) definite nel monitor.

**Esempio:** Produttore Consumatore (buffer di capacità  $n$ )



1. Il produttore non può inserire un messaggio nel buffer se questo è pieno.
2. Il consumatore non può prelevare un messaggio dal buffer se questo è vuoto

**[*HP: semantica signal&wait*]**

```

monitor buffer_circolare{
    messaggio buffer[N];
    int contatore=0; int testa=0; int coda=0;
    condition non_pieno;
    condition non_vuoto;

    /* procedure e funzioni entry: */
    entry void send(messaggio m){ /*proc. entry -> mutua esclusione*/
        if (contatore==N) non_pieno.wait;
        buffer[coda]=m;
        coda=(coda + 1)%N;
        ++contatore;
        non_vuoto.signal;
    }

    entry messaggio receive() { /*proc. entry -> mutua esclusione*/
        messaggio m;
        if (contatore == 0) non_vuoto.wait;
        m=buffer[testa];
        testa=(testa + 1)%N;
        --contatore;
        non_pieno.signal;
        return m;}
}/* fine monitor */

```

**Se la semantica fosse **signal&continue** ??**

# **Esempio di uso del costrutto monitor**

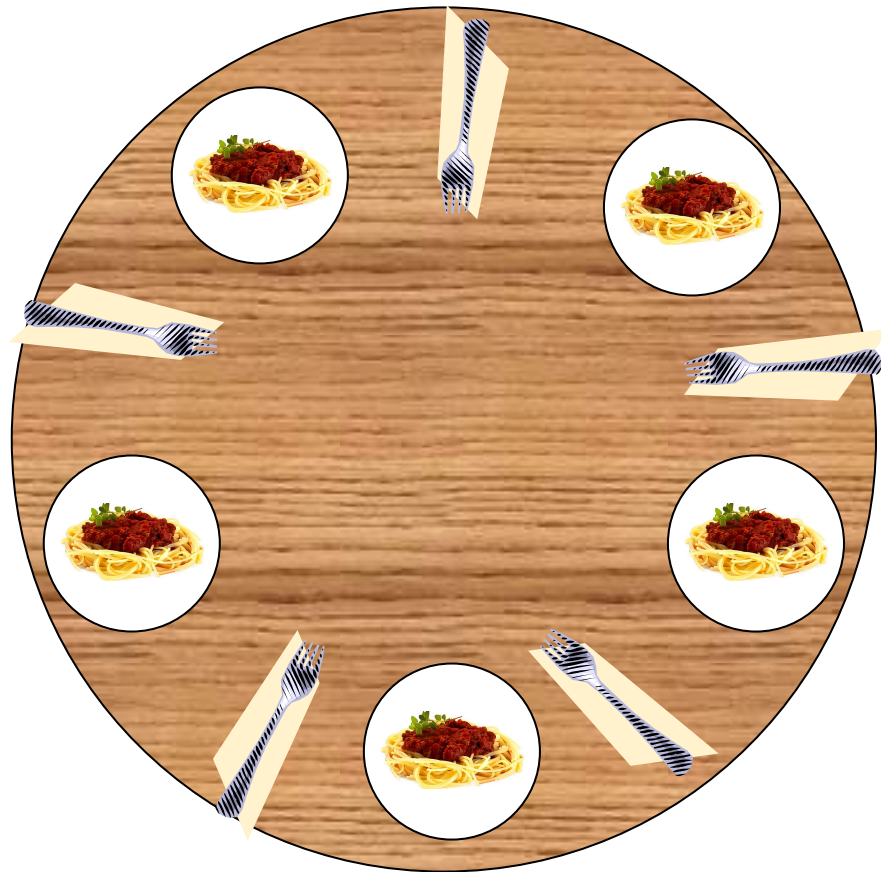
I filosofi a cena  
(E. Dijkstra, 1965)



# Il problema

- 5 filosofi sono seduti attorno a un tavolo circolare; ogni filosofo ha un piatto di spaghetti tanto scivolosi che necessitano di 2 forchette per poter essere mangiati; sul tavolo vi sono in totale 5 forchette.
- Ogni filosofo ha un comportamento ripetitivo, che alterna due fasi:
  - una fase in cui **pensa**,
  - una fase in cui **mangia**.

Rappresentando ogni filosofo con un thread, realizzare una politica di sincronizzazione che eviti situazioni di deadlock.



# Osservazioni

- i filosofi non possono mangiare tutti insieme: ci sono solo 5 forchette, mentre ne servirebbero 10;
- 2 filosofi vicini non possono mangiare contemporaneamente perche` condividono una forchetta e pertanto quando uno mangia, l'altro e` costretto ad attendere

# Soluzione n.1

Quando un filosofo ha fame:

1. prende la forchetta a sinistra del piatto
2. poi prende quella che a destra del suo piatto
3. mangia per un po'
4. poi mette sul tavolo le due forchette.

→ **Possibilita` di deadlock:** se tutti i filosofi afferrassero contemporaneamente la forchetta di sinistra, tutti rimarrebbero in attesa di un evento che non si potra` mai verificare.

## Soluzione n.2

Ogni filosofo verifica se entrambe le forchette sono disponibili:

- ❑ in caso affermativo, acquisisce le due forchette (in modo atomico);
  - ❑ in caso negativo, aspetta.
- in questo modo non si può verificare deadlock (non c'è possesso e attesa)

# Realizzazione soluzione 2

## Quali processo?

- ▣ filosofo

## Risorsa condivisa?

la tavola apparecchiata

-> definiamo la classe **tavola**, che  
rappresenta il monitor allocatore delle  
forchette

# Struttura Filosofo<sub>i</sub>

tavola m; // istanza del monitor

```
process filosofo {  
    while(true)  
    { m.prendiForchette(i) ;  
      <mangia...>  
      m.rilasciaForchette(i) ;  
      <pensa...>  
    }  
}
```

# Monitor

```
monitor tavola
{ int forchette[5] ={2,2,2,2,2};
//le forchette disponibili per ogni filosofo i
//inizialmente sono 2

    condition codaF[5]; //1 coda per ogni filosofo i

// metodi entry :
    entry void prendiForchette(int i){...}
    entry void rilasciaForchette(int i){...}

// metodi privati:
    int destra(int i){...}
    int sinistra(int i) {...}
}
```



# Metodi entry

```
entry void prendiForchette(int i)
{
    while (forchette[i] != 2)
        wait(codaF[i]);

    forchette[sinistra(i)]--;
    forchette[destra(i)]--;

}
```

```
entry void rilasciaForchette(int i)
{
    forchette[sinistra(i)]++;
    forchette[destra(i)]++;
    if (forchette[sinistra(i)]==2)
        signal(codaF[sinistra(i)]);
    if (forchette[destra(i)]==2)
        signal(codaF[destra(i)]);
}
```

# Metodi privati

```
int destra(int i)
{ int ret;
  if (i==0)
    ret=NF-1;
  else ret=i-1;
  return ret;
}
```

```
int sinistra(int i)
{ int ret;
  ret=(i+1)%NF;
  return ret;
}
```

## Ulteriori operazioni sulle variabili condizione

### Sospensione con indicazione della priorità:

**wait(cond, p);**

- i processi sono accodati rispettando il valore (crescente o decrescente) di p e vengono risvegliati nello stesso ordine.

### Verifica dello stato della coda:

**queue(cond);**

- fornisce il valore vero se esistono processi sospesi nella coda associata a cond, true altrimenti.

## **Esempio: allocazione di risorse in uso esclusivo**

Si vuole che una risorsa venga assegnata a quello tra tutti i processi sospesi che la userà per il periodo di tempo inferiore:

```
monitor allocatore
{ boolean occupato = false;
  condition libero;

  entry void Richiesta(int tempo)
  {   if (occupato) libero.wait(tempo);
      occupato = true;
  }
  entry void Rilascio()
  {   occupato = false;
      libero.signal;
  }
}
```

I processi sono inseriti nella coda secondo l'ordine crescente di  $p$  e quindi il primo processo risvegliato è quello che richiede meno tempo.

# Realizzazione del costrutto monitor tramite semafori

**HP:** il kernel offre il semaforo come strumento “primitivo” di sincronizzazione.

Realizziamo il **costrutto linguistico monitor** utilizzando i semafori.

Per ogni istanza di un monitor il compilatore del linguaggio concorrente prevede:

- un semaforo **mutex** inizializzato a 1 per la mutua esclusione delle operazioni entry del monitor:
  - la richiesta di un processo di eseguire un'operazione entry equivale all'esecuzione di una **p(mutex)**. Alla fine di ogni operazione entry viene eseguita una **v(mutex)**.
- per ogni variabile di tipo **condition**:
  - un semaforo **condsem** inizializzato a 0 sul quale il processo si può sospendere tramite una **wait(condsem)**.
  - un contatore **condcount** inizializzato a 0 per tenere conto dei processi sospesi su condsem.

# Signal\_and\_continue

**Prologo** di ogni operazione entry: **P (mutex) ;**

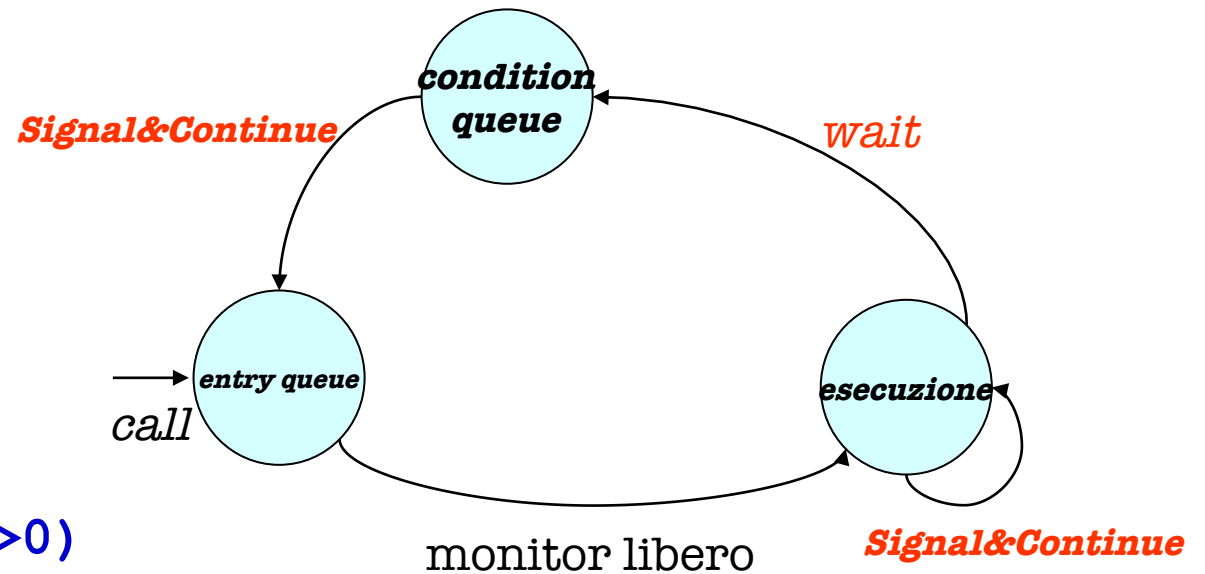
**Epilogo** di ogni operazione entry: **V (mutex) ;**

**wait(cond)**

```
{  conccount++;  
  V (mutex) ;  
  P (condsem) ;  
  P (mutex) ;  
}
```

**signal(cond)**

```
{  if (conccount>0)  
  {    conccount-- ;  
    V (condsem) ;  
  }  
}
```





# Signal\_and\_wait

**Prologo** di ogni operazione entry **P(mutex);**

**Epilogo** di ogni operazione entry **V(mutex);**

**wait(cond)**

```
{  
    condcoun++;  
    V(mutex) ;  
    P(condsem) ;  
}
```

**signal(cond)**

```
{  
    if (condcount>0)  
    {  
        condcoun-- ;  
        V(condsem) ;  
        P(mutex) ;  
    }  
}
```

