

Nucleo di un Sistema a Processi

- Il **modello a processi** prevede l'esistenza di tante unità di elaborazione (**macchine virtuali**) quanti sono i processi; ogni macchina possiede come set di istruzioni elementari quelle corrispondenti all'unità centrale reale più le istruzioni relative alla **creazione ed eliminazione dei processi**, al **meccanismo di comunicazione e sincronizzazione** (compresa la comunicazione con i dispositivi di I/O visti come processori esterni).
- Questo modello consente di mettere in evidenza le **proprietà logiche** di comunicazione e sincronizzazione tra processi senza doversi occupare degli aspetti implementativi legati alle particolari caratteristiche del processore fisico (es. gestione delle interruzioni).

Def: Si chiama **nucleo** (*kernel*) il modulo (o insieme di funzioni) realizzato in *software, hardware o firmware* che supporta il concetto di processo e realizza gli strumenti necessari per la gestione dei processi.

- Il nucleo costituisce il **livello più interno** di un qualunque sistema realizzato a processi. Ad esempio:
 - il livello più elementare di un *sistema operativo multiprogrammato*;
 - il supporto a tempo di esecuzione di un *linguaggio per la programmazione concorrente*.
- Il nucleo è il solo modulo che è conscio dell'esistenza delle **interruzioni**. I processi che colloquiano con i dispositivi utilizzano opportune primitive del nucleo che provvedono a **sospenderli** in attesa del completamento dell'azione richiesta.

- Quando l'azione è completata, il relativo segnale di interruzione inviato dal dispositivo alla CPU viene **catturato** dal nucleo che provvede a **risvegliare** il processo sospeso.
- La **gestione delle interruzioni** è quindi **invisibile ai processi** ed ha come unico effetto rilevabile di rallentare la loro esecuzione sulle rispettive macchine virtuali.
- Nel seguito verranno descritte le **strutture dati** e le **procedure** di un nucleo per sistemi monoprocesso e multiprocesso.

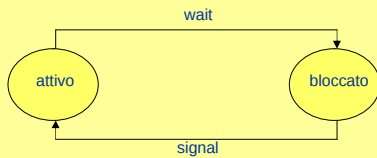
Obiettivo: **realizzazione dei processi** e loro **sincronizzazione**.

Non verranno trattati problemi quali la allocazione dinamica della memoria e le politiche di scheduling

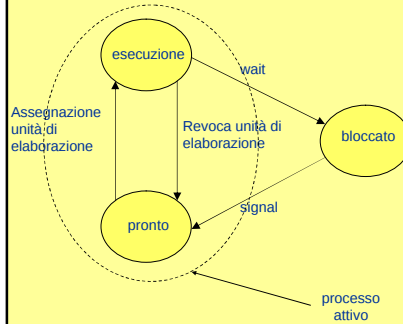
Caratteristiche fondamentali del nucleo

- **Efficienza:** condiziona l'intera struttura a processi. Per questo motivo esistono sistemi in cui alcune o tutte le operazioni del nucleo sono realizzate in hardware o mediante microprogrammi.
- **Dimensioni:** la semplicità delle funzioni richieste al nucleo fa sì che la sua dimensione risulti estremamente limitata
- **Separazione tra meccanismi e politiche:** il nucleo deve, per quanto possibile contenere solo meccanismi consentendo così, a livello di processi, di utilizzare tali meccanismi per la realizzazione di diverse politiche di gestione a seconda del tipo di applicazione

Stati di un processo:



Stati di un processo in sistemi in cui il numero di processi supera il numero delle unità di elaborazione:



- Quando un processo perde il controllo del processore, il contenuto dei registri del processore viene salvato in un'area di memoria associata al processo, chiamata **descrittore**.
- Ciò consente una **maggiore flessibilità** nella politica di assegnazione del processore ai processi, rispetto alla soluzione di salvare le informazioni nello **stack**: infatti, in un istante generico, uno qualunque dei processi pronti può ottenere l'uso del processore e ricaricare i registri con i valori salvati nel descrittore di processo.

Contesto di un processo: è l'insieme delle informazioni contenute nei *registri del processore* e relative al processo

- La funzione fondamentale del nucleo di un sistema a processi è la **gestione delle transizioni di stato** dei processi. Più precisamente il nucleo deve:

a) Gestire il salvataggio ed il ripristino dei contesti dei processi:

- Quando un processo abbandona il controllo dell'unità di elaborazione fisica (passaggio dallo stato di esecuzione allo stato di bloccato o di pronto), tutte le informazioni contenute nei registri di tale unità **devono essere trasferite nel descrittore**.
- Analogamente quando un processo riprende l'esecuzione (passaggio dallo stato di pronto allo stato di esecuzione) tutte le informazioni contenute nel suo descrittore **devono essere trasferite nei registri di macchina**.

b) Scegliere a quale tra i processi pronti assegnare l'unità di elaborazione (scheduling della CPU):

Quando un processo abbandona il controllo dell'unità di elaborazione, il nucleo deve scegliere tra tutti i processi pronti quello da mettere in esecuzione. La scelta può essere o di tipo FIFO, oppure può utilizzare la priorità dei processi.

c) Gestire le interruzioni dei dispositivi esterni

traducendole eventualmente in attivazione di processi da bloccato a pronto.

d) Realizzare le primitive di sincronizzazione dei processi

gestendo il passaggio dei processi dallo stato di esecuzione allo stato di bloccato e da bloccato a pronto (primitive wait e signal), la preparazione di un descrittore per un processo ed il suo inserimento nella coda dei processi pronti o le operazioni inverse (creazione e distruzione di un processo)

STRUTTURE DATI del Nucleo

Descrittore del processo. Contiene le seguenti informazioni:

- **Identificazione del processo:**

Ad ogni processo è associato un nome che lo identifica univocamente durante il suo tempo di vita.

- **Modalità di servizio dei processi:**

- *FIFO*
- *Priorità* (fissa o variabile)
- *Deadline*. Il descrittore contiene un valore che sommato all'istante di richiesta di servizio da parte del processo determina il tempo massimo entro il quale la richiesta può essere soddisfatta.
- *Quanto di tempo*. Sistemi time sharing

- **Contesto del processo:**

contatore di programma, registro di stato, registri generali, indirizzo dell'area di memoria privata del processo.

- **Identificazione del processo successivo:**

a seconda del loro stato i processi vengono inseriti, come si vedrà, in apposite code. Ogni descrittore contiene pertanto l'identificatore del processo successivo nella stessa coda.

Descrittore del Processo

Esempio di realizzazione:

```
typedef struct
{ int indice_priorità;
  int delta_t;
}modalità_di_servizio;

typedef struct
{ int nome;
  modalità_di_servizio servizio;
  tipo_contesto contesto;
  int successivo;
}descrittore_processo;

/* insieme di tutti i descrittori:*/
descrittore_processo descrittori[num_max_proc];
```

Coda dei processi pronti

- Esistono *una o più code* di processi pronti (caso di processi con priorità). Quando un processo è riattivato per effetto di una signal, viene inserito al fondo della coda corrispondente alla sua priorità.
- La coda dei processi pronti contiene un *processo fittizio (dummy process)* che va in esecuzione quando tutti i processi sono temporaneamente bloccati. Il processo *dummy* ha la *priorità più bassa* ed è sempre nello *stato di pronto*.
- Il processo dummy rimane in esecuzione fino a quando qualche altro processo diventa pronto, eseguendo un ciclo senza fine (oppure una funzione di servizio, o una di bassa priorità).

Coda dei processi pronti

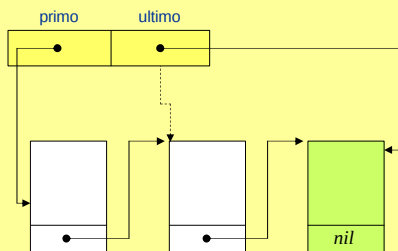
- Esempio di realizzazione:

```
typedef struct
{int primo,ultimo;}descrittore_coda;

typedef descrittore_coda coda_alivelli[Npriorità];

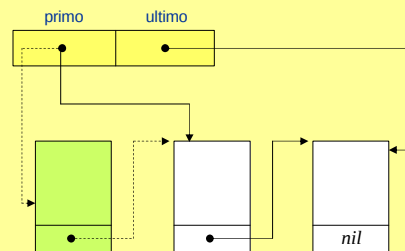
coda_alivelli coda_processi_pronti;
```

Inserimento di un descrittore in coda:



```
void Inserimento(int P, descrittore_coda C){..}
/* inserisce il processo di indice P nella coda C */
```

Prelievo di un descrittore da una coda:



```
int Prelievo(descrittore_coda C){..}
/* estrae il primo processo dalla coda C e restituisce il suo indice */
```

Descrittori liberi:

- Coda nella quale sono concatenati i descrittori disponibili per la creazione di nuovi processi e nella quale sono ritornati i descrittori dei processi eliminati

descrittore_coda **descrittori_liberi;**

Processo in esecuzione:

- Il nucleo necessita di conoscere quale processo è in esecuzione. Questa informazione, rappresentata dall'indice del descrittore del processo, viene contenuta in un particolare registro del processore :

```
int processo_in_esecuzione; /* indice del processo  
che sta usando la CPU*/
```

- Quando il nucleo è inizializzato (il che avviene durante l'operazione di *bootstrap* dell'elaboratore), viene creato un processo e l'indice del processo viene inserito nel registro *processo in esecuzione*.

Funzioni del Nucleo

- Le funzioni del nucleo realizzano le operazioni di **transizione di stato** per i singoli processi. Ogni transizione prevede il prelievo, da una coda, del descrittore del processo coinvolto ed il suo inserimento in un'altra coda.
- Si utilizzano a questo scopo due procedure: **Inserimento** e **Prelievo** di un descrittore da una coda. Se la coda è vuota si adotta l'ipotesi che il campo *primo* assuma il valore -1.
- Analogamente verrà assegnato il valore -1 al campo *successivo* dell'ultimo descrittore nella coda.

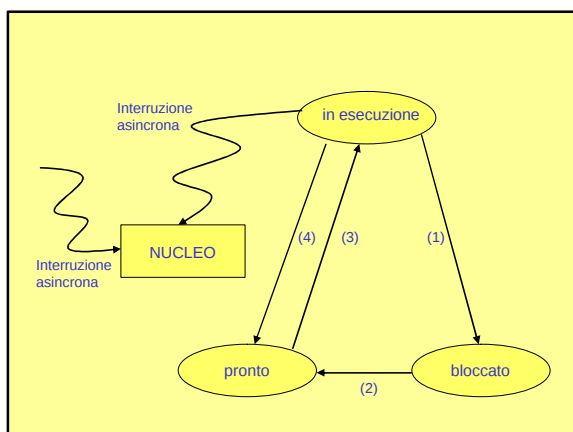
Funzioni del nucleo

- Le funzioni del nucleo possono essere suddivise in due livelli:
 - **Livello superiore:** contiene tutte le funzioni direttamente utilizzabili dai processi sia esterni (dispositivi di I/O) sia interni, quali *risposta ai segnali di interruzione e primitive per la creazione, eliminazione e sincronizzazione dei processi*.
 - **Livello inferiore:** realizza le funzionalità di *cambio di contesto* che prevede a salvare il contesto del processo che si sospende nel suo descrittore, a *scegliere un nuovo processo* da mettere in esecuzione tra quelli pronti e a ripristinare il suo contesto.

- L'ambiente di esecuzione delle funzioni del nucleo ha caratteristiche *distinte* da quello dei processi.
- Le funzioni del nucleo, per motivi di protezione, sono le *sole* che possono operare sulle *strutture dati* che rappresentano lo stato del sistema(descrittori, code di descrittori, semafori...) e le *sole* che possono utilizzare *istruzioni privilegiate* (abilitazione e disabilitazione delle interruzioni ,invio di comandi ai dispositivi).
- Le funzioni del nucleo devono essere eseguite in modo *mutuamente esclusivo*.
- I due ambienti corrispondono a stati *diversi* di operazione dell'elaboratore (*stati di supervisione e di utente*). Il meccanismo di passaggio da uno all'altro è basato sul *meccanismo delle interruzioni*

Più precisamente:

- Nel caso di funzioni chiamate da processi esterni, il passaggio all'ambiente del nucleo è ottenuto tramite il *meccanismo di risposta al segnale di interruzione* (interruzioni *asincrone o esterne*)
- Nel caso di funzioni chiamate da processi interni, il passaggio è ottenuto tramite l'esecuzione di *istruzioni del tipo chiamata al supervisore, SVC* (interruzioni *sincrone o interne*).
- In entrambi i casi, al completamento della funzione richiesta, il trasferimento all'ambiente di utente avviene tramite il *meccanismo di ritorno da interruzione*.



Funzioni del livello inferiore: CAMBIO DI CONTESTO

- *Salvataggio* del contesto del processo in esecuzione nel suo descrittore. (**Salvataggio_stato**)
- *Inserimento del descrittore* nella coda dei processi bloccati o dei processi pronti.
- *Rimozione del processo a maggior priorità* dalla coda dei pronti e caricamento dell'identificatore di tale processo nel registro *processo in esecuzione* (**Assegnazione_CPU**)
- *Caricamento* del contesto del nuovo processo nei registri di macchina. (**Ripristino_stato**)

Realizzazione

```
void Salvataggio_stato( )
{
    int j;
    j = processo_in_esecuzione;
    descrittori[j].contesto= <valori dei registri CPU>;
}

void Ripristino_stato( )
{
    int j;
    j = processo_in_esecuzione;
    <registro-temp>=descrittori[j].servizio.delta_t;
    <registri-CPU>= descrittori[j].contesto ;
}

void Assegnazione_CPU( )
{
    int k=0,j;
    while (coda_processi_pronti[k].primo== -1)
        k++;
    j=Prelievo (coda_processi_pronti [k]);
    processo_in_esecuzione=j;
}
```

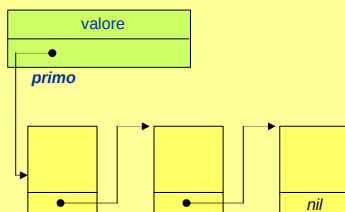
Gestione del temporizzatore

Per consentire la modalità di servizio a *divisione di tempo* è necessario che il nucleo gestisca un *dispositivo temporizzatore* tramite un'apposita procedura che ad intervalli di tempo fissati, provveda a sospendere il processo in esecuzione ed assegnare l'unità di elaborazione ad un altro processo.

```
void Cambio_di_Contesto()
{
    int j, k ;
    Salvataggio_stato();
    j = processo_in_esecuzione;
    k=descrittori[j].servizio.priorità;
    Inserimento (j,coda_processi_pronti[k]);
    Assegnazione_CPU ( );
    Ripristino_stato ( );
}
```

Semafori

- Un semaforo viene implementato tramite:
 - Una *variabile intera* che rappresenta il suo valore (≥ 0)
 - Un *puntatore ad una lista* di processi in attesa sul semaforo (*bloccati*)

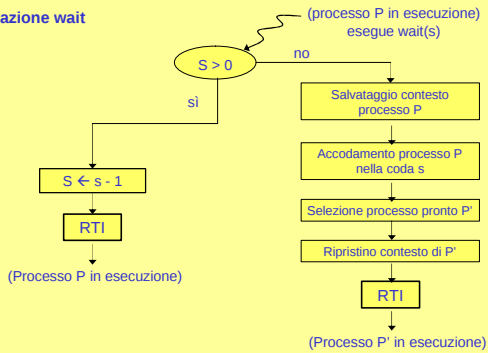


- Se non ci sono processi in coda il puntatore contiene la costante *nil* (ad esempio, -1).
- La lista realizza una politica **FIFO** tra i processi sospesi: i processi risultano ordinati secondo il loro tempo di arrivo nella coda associata al semaforo.
- Il descrittore di un processo viene inserito nella coda del semaforo come conseguenza di una primitiva **wait** non passante; viene prelevato per effetto di una **signal**.

```
typedef struct
{
    int contatore;
    coda_a_livelli coda;
} descr_semaforo;
```

Semafori: Funzioni di sincronizzazione

Operazione wait



Realizzazione di wait

```

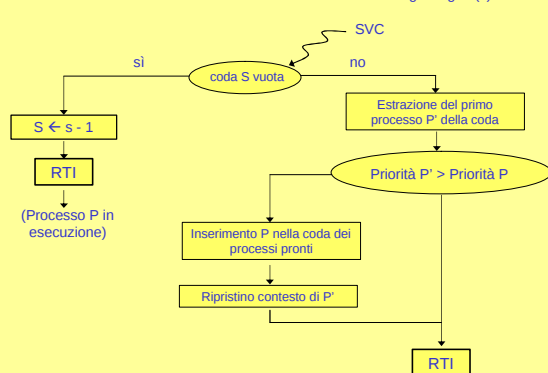
/* insieme di tutti i semafori: */
descr_semaforo semafori[num_max_sem];

/*ogni semaforo e` rappresentato dall'indice che lo individua nel vettore semafori*/
typedef int semaforo;

void wait (semaforo s)
{
    int j;int k;
    if (semafori[s].contatore ==0)
    {
        Salvataggio_stato();
        j=processo_in_esecuzione;
        k=descrittori[j].servizio.priorità;
        Inserimento(j,semafori[s].coda[k]);
        Assegnazione_CPU();
        Ripristino_stato();
    }
    else contatore--;
}
  
```

Operazione signal

(processo P in esecuzione) esegue signal(s)



Realizzazione signal

```

void signal (semaforo s)
{
    int j,k,p,q; /*j,k: processi; p,q indici priorità*/
    q=1;
    while (semafori[s].coda[q].primo== -1 && q < min_priorità )
        q++;
    if(semafori[s].coda[q].primo!= -1)
    {
        k=Prelievo (semafori[s].coda[q]);
        j= processo_in_esecuzione;
        p= descrittori[j].servizio.priorità;
        if( p>=q)
            Inserimento (k,coda_processi_pronti[q]);
        else {
            Salvataggio_stato();
            Inserimento(j,coda_processi_pronti[p]);
            processo_in_esecuzione=k;
            Ripristino_stato();
        }
    }
    else semafori[s].contatore ++;
}
  
```

Meccanismo di passaggio dall'ambiente di nucleo all'ambiente dei processi e viceversa.

- E' costituito dal *meccanismo di interruzioni* (esterne o asincrone, interne o sincrone). In entrambi i casi, al completamento della funzione richiesta, il trasferimento all'ambiente di utente avviene utilizzando il *meccanismo di ritorno da interruzione*.
- Architettura ipotetica: ad ogni processo è associata una pila (*stack*) gestita tramite il registro *stack point*. La pila rappresenta l'area di lavoro del processo e contiene variabili temporanee ed i record di attivazione delle procedure chiamate.
- *Registri*: PC e PS (registro di stato), R1, R2, ..., Rn, R1', R2' ..., Rn', SP1, SP1' (registri generali e stack pointer) associati rispettivamente agli ambienti di nucleo e dei processi.

L'esecuzione di una primitiva da parte di P corrisponde all'esecuzione di una istruzione di tipo SVC:

1. **Interruzione** di tipo sincro
2. **Salvataggio di PC e PS** relativi a P in cima alla pila del nucleo.
3. **Caricamento in PC e PS** dell'indirizzo della procedura di risposta all'interruzione e di PS del nucleo.
4. **Esecuzione della procedura di risposta** all'interruzione con chiamata alla primitiva di nucleo richiesta (es. wait)
5. **Wait passante**: esecuzione di **ritorno dall'interruzione** che ripristina in PC e PS i valori del processo contenuti nella pila del nucleo.
6. **Wait non passante**: **salvataggio stato...**

ESTENSIONE AL CASO MULTIPROCESSORE

Primo modello

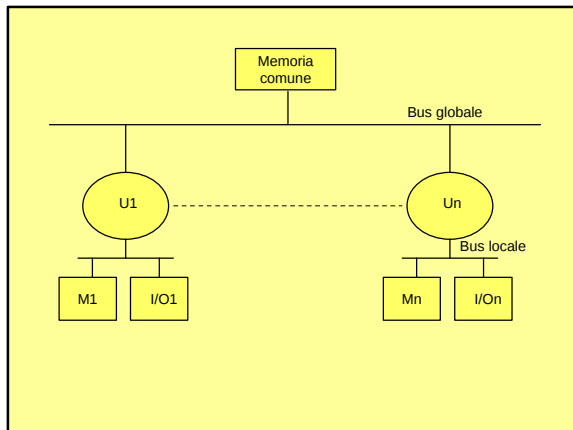
- Ogni processo può operare su *ogni unità di elaborazione*. Esiste *un'unica copia del nucleo* nella memoria comune.
- *Accesso esclusivo* alle sue *strutture dati* può essere ottenuto con le primitive *lock* e *unlock*.
- *Limitazione del grado di parallelismo*, escludendo a priori ogni possibilità di esecuzione contemporanea di più funzioni del nucleo, ad esempio *due wait su due semafori diversi*.

- Un *maggior grado di concorrenza* può essere ottenuto proteggendo

- i **singoli semafori**
- la **coda dei processi pronti**

tramite variabile logiche x ad essi associate ed usate dalle *lock* e *unlock* (soluzione hardware al problema della mutua esclusione).

- In questo caso due operazioni wait su semafori diversi possono operare in *modo contemporaneo* se non risultano sospensive. In caso contrario, vengono *sequenzializzati solo gli accessi alla coda dei processi pronti*.



- L'esecuzione della *signal* può portare all'attivazione di un processo con *priorità superiore* ad almeno uno dei processi in esecuzione.
- Il nucleo deve provvedere a *revocare l'unità di elaborazione* al processo con *priorità più bassa* ed assegnarla al processo riattivato.
- Occorre che il nucleo mantenga l'informazione del processo in esecuzione a *più bassa priorità* e *del nodo fisico* su cui opera.
- Inoltre è necessario un *meccanismo di segnalazione* tra le unità di elaborazione.

Sia

P_i il processo che esegue la *signal* operando su U_i

P_j il processo riattivato

P_k il processo a più bassa priorità che opera su U_k

Il nucleo attualmente eseguito da U_i invia un segnale di interruzione a U_k .

U_k , utilizzando le funzioni del nucleo, inserisce P_k nella coda dei processi pronti e *mette in esecuzione il processo P_j* .

- Anche se un processo può essere eseguito da ogni processore, può risultare *più efficiente* assegnarlo ad un *determinato processore*.

- I processori possono accedere più rapidamente alla loro memoria privata piuttosto che a quella remota (*sistemi con accesso alla memoria non uniforme*).

- Il processo dovrebbe essere eseguito sul processore la cui memoria privata *contiene il suo codice*.

I processori hanno *memorie cache* o *TLB* (memoria virtuale). Il processo dovrebbe essere assegnato al processore sul quale era stato precedentemente eseguito.

Lista dei processi pronti *per ogni processore*. Problema del **load-balancing**

ESTENSIONE AL CASO MULTIPROCESSORE

Secondo modello:

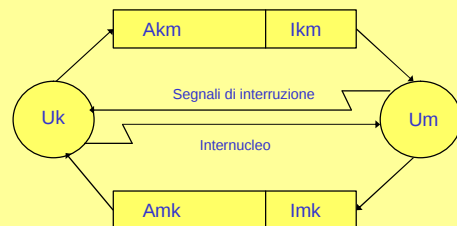
- Si basa sull'ipotesi che l'insieme di processi sia partizionabile in tanti sottoinsiemi (*nodi virtuali*) *lascamente connessi*, cioè con un ridotto numero di interazioni reciproche.
- Ciascun *nodo virtuale* è assegnato ad un nodo fisico. Tutte le informazioni relative al *nodo virtuale* come descrittori dei processi, semafori locali, code dei processi pronti, vengono allocate sulla *memoria privata* del nodo fisico.
- Se nelle memorie private vengono allocate anche le *funzioni del nucleo*, tutte le interazioni locali al *nodo virtuale* possono avvenire indipendentemente e concorrentemente a quelle di altri nodi virtuali.
- Solo le interazioni tra processi appartenenti a nodi virtuali diversi utilizzano la memoria comune.

- La memoria comune dovrà contenere tutte le informazioni relative ai *semafori* utilizzati da processi appartenenti a *nodi virtuali differenti*.
- Ogni processo sarà protetto da un *indicatore x* usato da *lock(x)* e *unlock(x)*.
- *Rappresentante del processo*. Insieme minimo di informazioni sufficienti per identificare sia il *nodo fisico* su cui il processo opera, sia il *descrittore* contenuto nella memoria privata del processore.
- Esecuzione di una *wait sospensiva*: il nucleo N_k del nodo fisico k -esimo sul quale opera il processo P_i , provvede a sospendere sul semaforo il *rappresentante di P_i* . Il descrittore di P_i viene sospeso in una apposita coda nella memoria privata del nodo fisico k -esimo.

- Esecuzione di una *signal* su un semaforo (con rappresentanti in coda) da parte di un processo P_i che opera sul *nodo* U_k :

- il rappresentante del processo P_j che appartiene al *nodo* U_m viene eliminato dalla coda (es. FIFO);
- il nucleo N_k provvede a *comunicare* l'identità del processo P_j risvegliato al nucleo N_m ;
- N_m provvede a mettere in esecuzione il processo P_j o ad inserirlo nella coda dei processi pronti nella sua memoria locale.

Comunicazione tra nuclei



- *Akm* , *Amk* sono aree di comunicazione tra i nodi *Uk* e *Um*
- *Nk* inserisce in *Akm* l'identità del processo *Pj* risvegliato e lancia un'interruzione a *Nm*.
- Rispondendo a questa interruzione *Nm* provvede a prelevare le informazioni contenute in *Akm* ed a eseguire le operazioni già descritte.
Analogamente per le comunicazioni tra *Nm* e *Nk*.
- *lkm* e *lmk* sono indicatori che servono per sincronizzare le operazioni dei due nuclei.
- Se *lkm* ha valore 1 significa che l'informazione contenuta in *Akm* non è ancora stata prelevata da *Nm*; se ha valore 0 significa che *Akm* è disponibile per un ulteriore messaggio da *Nk* a *Nm*

Realizzazione wait (caso multiprocessore)

```
void wait(semaphore sem):
{
    if (<sem appartiene alla memoria privata>)
        <come nel caso monoprocesso>
    else
    {
        lock(x);
        <esecuzione della wait con eventuale
        sospensione del rappresentante del
        processo nella coda di sem>;
        unlock(x);
    }
}
```

- Ogni *gestore* viene programmato come una risorsa astratta.
- E' costituito da:
 - una *struttura dati* usata per mantenere aggiornato lo stato della risorsa gestita;
 - alcune *procedure* che costituiscono le operazioni utilizzate dai processi per richiedere o rilasciare il diritto di operare sulla risorsa gestita.
- La *struttura dati* e le procedure sono programmate in modo da soddisfare la *strategia di allocazione della risorsa*.
- Il gestore è una *risorsa condivisa e allocata staticamente*.

Realizzazione signal (caso multiprocessore)

```
void Signal (semaphore sem)
{
    if (<sem appartiene alla memoria privata>)
        <caso monoprocesso>
    else {
        lock(x)
        if (<la coda non è vuota>)
            if (<il processo appartiene al nodo del segnalante>)
                <caso monoprocesso>;
            else {
                <si elimina il processo dalla coda>;
                <si determina l'area di comunicazione con il nodo
                cui il processo appartiene>;
                if (<area occupata>) <si aspetta>;
                else <si inserisce nell'area l'identificatore del
                processo riattivato e si pone l'indicatore
                a 1>;
                <si invia interrupt al nodo cui appartiene il
                processo>;
            }
        else <si incrementa il valore del semaforo>;
        unlock(x)
    }
}
```