

# Sistemi Operativi M

Federico Andrucci

September 2021

## **Contents**

# 1 Virtualizzazione

Virtualizzare un sistema (hardware e software) significa presentare all'utente una visione delle risorse del sistema diversa da quella reale. Ciò è possibile introducendo un **livello di indirectione** tra la vista logica e quella fisica delle risorse.

Quindi l'obiettivo della virtualizzazione è quello di disaccoppiare il comportamento delle risorse di un calcolatore dalla loro realizzazione fisica. Quindi apparendo diverse da quelle effettive della macchina. Il software che si occupa di virtualizzare in parole semplici divide le risorse reali nel numero di macchine virtuali necessarie. Quindi ogni macchina virtuale avrà la sua CPU, GPU, RAM, ecc...

Esempi di virtualizzazione:

- **Virtualizzazione a livello di processo:** i sistemi multitasking permettono l'esecuzione contemporanea di più processi, ognuno dei quali dispone di una macchina virtuale dedicata. Questo tipo di virtualizzazione viene realizzata dal kernel del sistema operativo.
- **Virtualizzazione della memoria:** in presenza di memoria virtuale, ogni processo vede uno spazio di indirizzamento di dimensioni indipendenti dallo spazio fisico effettivamente a disposizione. Anche questa virtualizzazione è realizzata dal kernel.
- **Astrazione:** un oggetto astratto (risorsa virtuale) è la rappresentazione semplificata di un oggetto (risorsa fisica), quindi esibendo le proprietà significative per l'utente e nascondendo i dettagli realizzativi non importanti

## 1.1 Virtualizzazione di un Sistema di Elaborazione

Tramite la virtualizzazione una singola piattaforma hardware viene condivisa da più elaboratori virtuali, ognuno gestito da un proprio sistema operativo. Il disaccoppiamento viene realizzato dal **Virtual Machine Monitor (VMM)**, il cui compito è quello di consentire la condivisione da parte di più macchine virtuali di una singola piattaforma hardware.

Quindi il **VMM** è il **mediatore unico** nelle interazioni tra le macchine virtuali e l'hardware, il quale garantisce: **isolamento tra le VM** e **stabilità del sistema**.

## 1.2 Tecniche del VMM

### 1.2.1 Emulazione

L'emulazione è l'insieme di tutti quei meccanismi che permettono l'esecuzione di un programma compilato su un determinato sistema di girare su un qualsiasi altro sistema differente da quello nel quale è stato compilato. Quindi vengono emulate interamente le singole istruzioni dell'architettura ospitata.

I vantaggi dell'emulazione sono l'interoperabilità tra ambienti eterogenei, mentre gli svantaggi sono le ripercussioni sulle performances.

Esistono principalmente due tecniche di emulazione: **interpretazione** e **ricompilazione dinamica**.

#### **Interpretazione:**

L'interpretazione si basa sulla lettura di ogni singola istruzione del codice macchina che deve essere eseguito e sulla esecuzione di più istruzioni sull'host virtualizzante. Produce un sovraccarico elevato in quanto potrebbero essere necessarie molte istruzioni dell'host per interpretare una singola istruzione sorgente.

#### **Compilazione dinamica:**

Invece di leggere una singola istruzione del sistema ospitato, legge interi blocchi di codice, vengono analizzati, tradotti per la nuova architettura, ottimizzati e messi in esecuzione. Il vantaggio in termini prestazionali rispetto all'interpretazione è notevolmente maggiore.

Ad esempio parti di codice utilizzati frequentemente vengono bufferizzati nella cache per evitare di doverli ricompilare in seguito.

.. ..

### **1.3 Realizzazione del VMM**

**Requisiti di Popek e Goldberg del 1974:**

- **Ambiente di esecuzione per i programmi sostanzialmente identico a quello della macchina reale:** Gli stessi programmi che eseguono nel sistema non virtualizzato possono essere eseguiti nelle VM senza modifiche e problemi.
- **Garantire un'elevata efficienza nell'esecuzione dei programmi:** Il VMM deve permettere l'esecuzione diretta delle istruzioni impartite dalle macchine virtuali, quindi le istruzioni non privilegiate vengono eseguite direttamente in hardware senza coinvolgere il VMM
- **Garantire la stabilità e la sicurezza dell'intero sistema:** Il VMM deve sempre rimanere sempre nel pieno controllo delle risorse hardware, e i programmi in esecuzione nelle macchine virtuali non possono accedere all'hardware in modo privilegiato

#### **Parametri e classificazione**

- **Livello** nel quale è collocato il VMM:
  - **VMM di sistema:** eseguono direttamente sopra l'hardware del elaboratore (vmware, esx, xen, kvm)

- **VMM ospitati:** eseguiti come applicazioni sopra un S.O. esistente (parallels, virtualbox)
- **Modalità di dialogo:** per l'accesso alle risorse fisiche tra le macchine virtuali ed il VMM:
  - **Virtualizzazione pura** (vmware): le macchine virtuali usano la stessa interfaccia dell'architettura fisica
  - **Paravirtualizzazione** (xen): il VMM presenta un'interfaccia diversa da quella dell'architettura HW

### 1.3.1 Ring di protezione

La CPU prevede due livelli di protezione: **supervisore o kernel (0)** e **utente (<0)**.

Ogni ring corrisponde a una diversa modalità di funzionamento del processore:

- a livello 0 vengono eseguite le istruzioni privilegiate della CPU
- nei ring di livello superiore a 0 le istruzioni privilegiate non vengono eseguite

Alcuni programmi sono progettati per eseguire nel ring 0, ad esempio il Kernel del S.O. infatti è l'unico componente che ha pieno controllo dell'hardware.

#### VMM (vmm di sistema)

In un sistema virtualizzato il VMM deve essere l'unica componente in grado di mantenere il controllo completo dell'hardware. Infatti solo il VMM opera nello stato supervisore, mentre il S.O. e le applicazioni eseguono in un ring di livello superiore.

Sorgono però due problemi:

- **Ring deprivileging:** il s.o. della macchina virtuale esegue in un ring che non gli è proprio
- **Ring compression:** se i ring utilizzati sono solo 2, applicazioni e s.o. della macchina virtuale eseguono allo stesso livello: scarsa protezione tra spazio del s.o. e delle applicazioni.

### 1.3.2 Ring Deprivileging

Con Ring Deprivileging si indica una situazione nel quale l'esecuzione di istruzioni privilegiate richieste dal sistema operativo nell'ambiente guest non possono essere eseguite in quanto richiederebbero un ring 0, ma il kernel della macchina virtuale esegue in un ring di livello superiore (foto telefono 1)

Una possibile prima soluzione è il **Trap & Emulate**: nel quale se il guest tenta di eseguire un'istruzione privilegiata

- la CPU notifica un'eccezione al VMM (**trap**) e gli trasferisce il controllo

- il VMM controlla la correttezza dell'operazione richiesta e ne emula il comportamento (**emulate**)

Quindi in poche parole la CPU notifica e delega al VMM il controllo e l'esecuzione dell'istruzione privilegiata.

Esempio:

Il guest tenta di disabilitare le interruzioni (popf), se la richiesta della macchina virtuale fosse eseguita direttamente sulla CPU sarebbero disabilitati tutti gli interrupt di sistema e quindi il VMM non potrebbe riottenere il controllo. Invece, con Trap&Emulate riceve la notifica di tale richiesta e ne emula il comportamento sospendendo gli interrupt solamente per la macchina virtuale richiedente.

### Supporto HW alla virtualizzazione

L'architettura della CPU si dice **naturalmente virtualizzabile** se e solo se prevede l'invio di trap al VMM per ogni istruzione privilegiata invocata da un livello di protezione differente dal quello del VMM.

Se la CPU è naturalmente virtualizzabile viene implementato il trap&emulate, altrimenti, se non è virtualizzabile vi sono 2 possibilità: **Fast Binary Translation** e **Paravirtualizzazione**.

#### 1.3.3 Fast Binary Translation

Il VMM scansiona dinamicamente il codice dei sistemi operativi guest prima dell'esecuzione per sostituire a run time i blocchi contenenti istruzioni privilegiate in blocchi equivalenti dal punto di vista funzionale e contenenti chiamate al VMM. Inoltre i blocchi tradotti sono eseguiti e conservati in cache per eventuali riusi futuri. (SISTEMARE)

(immagine slide 33)

Il principale limite della Fast Binary Translation è che la traduzione dinamica è molto costosa. Però, con questa tecnica, ogni macchina virtuale è una esatta copia della macchina fisica, con la possibilità di installare gli stessi s.o. di architetture non virtualizzate.

#### 1.3.4 Paravirtualizzazione

Il VMM (hypervisor) offre al sistema operativo guest un'interfaccia virtuale (ovviamente differente da quello hardware del processore) chiamata **\*\*hypercall API\*\*** alla quale i s.o. guest devono riferirsi per avere accesso alle risorse (system call).

Queste Hypercall API permettono di:

- richiedere l'esecuzione di istruzioni privilegiate, senza generare un interrupt al VMM
- i kernel dei s.o. guest devono quindi essere modificati per avere accesso all'interfaccia del particolare VMM

- la struttura del VMM è semplificata perchè non deve più preoccuparsi di tradurre dinamicamente i tentativi di operazioni privilegiate dei s.o. guest

Le prestazioni rispetto alla Fast Binary Translation sono notevolmente superiori, però ovviamente c'è una necessità di porting dei s.o. guest (non sempre facile).

(aggiungere protezione processore)

## 2 La protezione nei Sistemi Operativi

**Sicurezza:** riguarda l'insieme delle tecniche per regolamentare l'accesso degli utenti al sistema di elaborazione. La sicurezza impedisce accessi non autorizzati al sistema e i conseguenti tentativi dolosi di alterazione e distruzione di dati.

**Protezione:** insieme di attività volte a garantire il controllo dell'accesso alle risorse logiche e fisiche da parte degli utenti autorizzati all'uso di un sistema di calcolo.

La sicurezza mette a disposizione meccanismi di \*\*identificazione, autenticazione, ...\*\*

Per rendere un sistema sicuro è necessario stabilire per ogni utente autorizzato:

- quali siano le risorse alle quali può accedere
- con quali operazioni può accedervi

Tutto ciò è stabilito dal sistema di protezione attraverso delle tecniche di controllo dell'accesso.

In un sistema il controllo degli accessi si esprime tramite la definizione di tre livelli concettuali:

- modelli
- politiche
- meccanismi

### Modelli:

Un modello di protezione definisce i soggetti, gli oggetti e i diritti d'accesso:

- **oggetti:** costituiscono la parte passiva, cioè le risorse fisiche e logiche alle quali si può accedere e su cui si può operare.
- **soggetti:** rappresentano la parte attiva di un sistema, cioè le entità che possono richiedere l'accesso alle risorse (utenti e processi)
- **diritti d'accesso:** sono le operazioni con le quali è possibile operare sugli oggetti

(Un soggetto può avere diritti d'accesso sia per gli oggetti che per gli altri soggetti)

Ad ogni soggetto è associato un **dominio di protezione**, che rappresenta l'ambiente di protezione nel quale il soggetto esegue. Quindi il dominio indica i diritti d'accesso posseduti dal soggetto nei confronti di ogni risorsa.

Un dominio di protezione è unico per ogni soggetto, mentre un processo può eventualmente cambiare dominio durante la sua esecuzione.

#### **Politiche:**

Le **politiche di protezione** definiscono le regole con le quali i soggetti possono accedere agli oggetti. Classificazione delle politiche:

- **discretionary access control (DAC)**: il creatore di un oggetto controlla i diritti di accesso per quell'oggetto (unix). La definizione delle politiche è decentralizzata.
- **mandatory access control (MAC)**: i diritti di accesso vengono definiti in modo centralizzato. Ad esempio in installazioni di alta sicurezza
- **role based access control (RBAC)**: ad un ruolo sono assegnati specifici diritti di accesso sulle risorse. Gli utenti possono appartenere a diversi ruoli. I diritti attribuiti ad ogni ruolo vengono assegnati in modo centralizzato

**Principio del privilegio minimo**: ad ogni soggetto sono garantiti i diritti d'accesso solo agli oggetti strettamente necessari per la sua esecuzione (POLA: principle of least authority). il POLA è una caratteristica desiderabile in ogni sistema di controllo.

#### **Meccanismi:**

I **meccanismi di protezione** sono gli strumenti necessari a mettere in atto una determinata politica. Principi di realizzazione:

- **Flessibilità del sistema di protezione**: i meccanismi devono essere sufficientemente generali per consentire l'applicazione di diverse politiche di protezione
- **Separazione tra meccanismi e politiche**: la politica definisce "cosa va fatto" ed il meccanismo "come va fatto". Ovviamente è desiderata la massima indipendenza tra le due componenti.

## **2.1 Dominio di protezione**

Un dominio definisce un insieme di coppie, ognuna contenente l'identificatore di un oggetto e l'insieme delle operazioni che il soggetto associato al dominio può eseguire su ciascun oggetto

$$D(S) = \{ \langle o, \text{diritti} \rangle \mid o \text{ è un oggetto, diritti è un insieme di operazioni} \}$$

### **Modello di Grahmm-Denning**

Questo modello fornisce una serie di comandi che garantiscono la modifica controllata dello stato di protezione:

- create object
- delete object
- create subject
- delete subject
- read access right
- grant access right
- delete access right
- transfer access right

#### **2.1.1 Diritti**

##### **Diritto Owner:**

Il diritto owner permette l'assegnazione di qualunque diritto di accesso su un oggetto X ad un qualunque soggetto S<sub>j</sub> da parte di un soggetto S<sub>i</sub>. L'operazione è consentita solo se il diritto owner appartiene a A[S<sub>i</sub>, X]

##### **Diritto Control:**

Eliminazione di un diritto di accesso per un oggetto X nel dominio di S<sub>j</sub> da parte di S<sub>i</sub>. L'operazione è consentita solo se il diritto control appartiene a A[S<sub>i</sub>, S<sub>j</sub>], oppure owner appartiene a A[S<sub>i</sub>, X].

##### **Cambio di dominio: switch**

Il cambio di dominio permette che un processo che esegue nel dominio del soggetto S<sub>i</sub> può commutare al dominio di un altro soggetto S<sub>j</sub>. L'operazione è consentita solo se il diritto switch appartiene a A[S<sub>i</sub>, S<sub>j</sub>].

## **2.2 Realizzazione della matrice degli accessi**

La matrice degli accessi è una notazione astratta che rappresenta lo stato di protezione. Nella rappresentazione concreta è necessario considerare: la dimensione della matrice e matrice sparsa.

La rappresentazione concreta della matrice degli accessi deve essere ottimizzata sia riguardo all'occupazione di memoria sia rispetto all'efficienza nell'accesso e nella gestione delle informazioni di protezione. Ci sono principalmente di approcci:



- **Access Control List (ACL):** rappresentazione per colonne, per ogni oggetto è associata una lista che contiene tutti i soggetti che possono accedere all'oggetto, con i relativi diritti d'accesso per l'oggetto
- **Capability List:** rappresentazione per righe, ad ogni soggetto è associata una lista che contiene gli oggetti accessibili dal soggetto ed i relativi diritti d'accesso.

### 2.2.1 Access Control List

La lista degli accessi per ogni oggetto è rappresentata dall'insieme delle coppie: **<oggetto, insieme dei diritti>** limitatamente ai soggetti con un insieme non vuoto di diritti per l'oggetto.

Quando deve essere eseguita un'operazione M su un oggetto Oj, da parte di Si, si cerca nella lista degli accessi **<Si, Rk>, con M appartenente a Rk**.

La ricerca può essere fatta preventivamente in una lista di default contenete i diritti di accesso applicabili a tutti gli oggetti. Se in entrambi i casi la risposta è negativa, l'accesso è negato.

### Utenti e Gruppi

Generalmente ogni soggetto rappresenta un singolo utente. Molti sistemi hanno il concetto di **gruppo di utenti**. I gruppi hanno un nome e possono essere inclusi nella ACL.

In questo caso l'entry in ACL ha la forma: **UID-1, GID-1 : <insieme di diritti>**

**UID-2, GID-2 : <insieme di diritti>**

Dove UID è lo user identifier e GID è il group identifier.

In certi casi il gruppo identifica un ruolo: uno stesso utente può appartenere a gruppi diversi e quindi con diritti diversi. In questo caso, quando un utente accede, specifica il gruppo di appartenenza.

### 2.2.2 Capability List

La lista delle capability, per ogni soggetto, è la lista di elementi ognuno dei quali:

- è associato a un oggetto a cui il soggetto può accedere
- contiene i diritti di accessi consentiti su tale oggetto

Ogni elemento della lista prende il nome di **capability**. Il quale si compone di un identificatore (o un indirizzo) che indica l'oggetto e la rappresentazione dei vari diritti d'accesso. Quando S intende eseguire un'operazione M su un oggetto Oj: il meccanismo di protezione controlla se nella lista delle capability associata a S ne esiste una relativa ad Oj che abbia tra i suoi diritti M.

Ovviamente le Capability List devono essere protette da manomissioni, ed è possibile in diversi modi:

- la capability list viene gestita solamente da s.o.; l'utente fa riferimento ad un puntatore (capability) che identifica la sua posizione nella lista appartenente allo spazio del kernel
- Architettura etichettata: a livello HW, ogni singola parola ha bit extra, che esprimono la protezione su quella cella di memoria. Ad esempio, se è una capability, deve essere protetta da scritture non autorizzate.

I bit tag non sono utilizzati dall'aritmetica, dai confronti e da altre istruzioni normali e può essere modificato solo da programmi che agiscono in modo kernel.

### 2.2.3 Revoca dei diritti di accesso

In un sistema di protezione dinamica può essere necessario revocare i diritti d'accesso per un oggetto. La revoca può essere di tre tipi:

- **generale o selettiva:** cioè valere per tutti gli utenti che hanno quel diritto di accesso o solo per un gruppo
- **parziale o totale:** cioè riguardare un sottoinsieme di diritti per l'oggetto, o tutti
- **temporanea o permanente:** cioè il diritto di accesso non sarà più disponibile, oppure potrà essere successivamente riottenuto

#### **Revoca del diritto per un oggetto con ACL:**

Si fa riferimento alla ACL associata all'oggetto e si cancellano i diritti di accesso che si vogliono revocare

#### **Revoca del diritto per un oggetto con Capability List:**

Più complicato rispetto ad ACL. È necessario verificare per ogni dominio se contiene la capability con riferimento all'oggetto considerato.

## 2.3 Protezione e Sicurezza

La protezione riguarda solamente il controllo degli accessi alle risorse interne al sistema. Invece la sicurezza si occupa di controllare gli accessi al sistema stesso. In alcuni casi la sola protezione può non essere efficace, nel caso in cui, ad esempio, un utente autorizzato riesce a far eseguire programmi che agiscono sulle risorse del sistema.

### 2.3.1 Sicurezza Multilivello

La maggior parte dei sistemi operativi permette ai singoli utenti di determinare chi possa leggere e scrivere i loro file ed oggetti. Invece in alcuni ambienti è richiesto e necessario un più stretto controllo sulle regole di accesso alle risorse (ambiente militare, ospedaliero, ecc). Vengono quindi stabilite delle regole **generali** su "chi può accedere e a che cosa", che possono essere modificate solo da un'entità centrale autorizzata.

Quando è necessario un controllo obbligatorio degli accessi al sistema, l'organizzazione a cui il sistema appartiene definisce le politiche **MAC** che stabiliscono le **regole generali** tramite l'adozione di un modello di sicurezza.

I modelli di sicurezza più utilizzati sono:

- modello **Bell-La Padula**
- modello **Biba**

Entrambi sono modelli multilivello.

In un modello di sicurezza multilivello i **soggetti** (utenti) e gli **oggetti** (risorse, file, ecc) sono **classificati** in **livelli** (classi di accesso):

- Livelli per i soggetti (**clearance levels**)
- Livelli per gli oggetti (**sensitivity levels**)

Il modello inoltre fissa le **regole di sicurezza**, le quali controllano il flusso delle informazioni tra i livelli.

#### Modello Bell-La Padula

Modello progettato per realizzare la sicurezza in organizzazioni militari, garantendo la **confidenzialità** delle informazioni.

Associa a un sistema di protezione (matrice degli accessi) due regole di sicurezza MAC, che stabiliscono la direzione di propagazione delle informazioni nel sistema.

Quattro livelli di sensibilità degli oggetti:

- Non classificato
- Confidenziale
- Segreto
- Top secret

Quattro livelli di autorizzazione (clearance) per i soggetti:

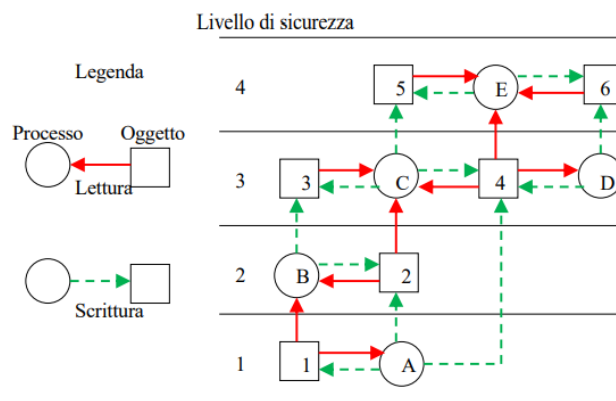
Le persone sono assegnate ai livelli a seconda del ruolo nell'organizzazione.

**Regole di Sicurezza:**

- **Proprietà di semplice sicurezza:** un processo in esecuzione al livello di sicurezza  $k$  può leggere solo oggetti al suo livello o a livelli inferiori
- **Proprietà \*:** un processo in esecuzione al livello di sicurezza  $k$  può scrivere solamente oggetti al suo livello o a quelli superiori

Quindi i processi possono leggere verso il basso e scrivere verso l'alto, ma non il contrario. (flusso delle informazioni dal basso verso l'alto).

Generalmente a queste regole si aggiungono le regole di protezione specificate dalla matrice degli accessi.



Il modello Bell-La Padula è stato concepito per mantenere i segreti, non per garantire l'integrità dei dati. È possibile infatti sovrascrivere l'informazione appartenente ad un livello superiore.

Esempio cavallo di troia

### Modello Biba

Se il modello Bell-La Padula è stato concepito per mantenere i segreti e non per garantire l'integrità dei dati, il Modello Biba ha come obiettivo principale proprio l'integrità dei dati.

- **Proprietà di semplice sicurezza:** un processo in esecuzione al livello di sicurezza  $k$  può scrivere solamente oggetti al suo livello o a quelli inferiori (nessuna scrittura verso l'alto)
- **Proprietà di integrità \*:** un processo in esecuzione al livello  $k$  può leggere solo oggetti al suo livello o quelli superiori (nessuna lettura verso il basso)

Ovviamente il modello Biba è in conflitto con il modello B-LP e quindi non possono essere utilizzati contemporaneamente.

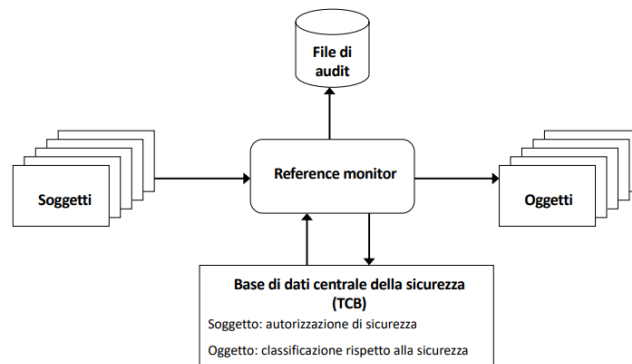
### 2.3.2 Architettura dei sistemi ad elevata sicurezza

**Sistemi operativi sicuri, o fidati:** sistemi per i quali è possibile definire formalmente dei requisiti di sicurezza.

**Reference Monitor:** è un elemento di controllo realizzato dall'hardware e dal S.O. che regola l'accesso dei soggetti agli oggetti sulla base di parametri di sicurezza (es. modello Bell-La Padula)

**Trusted computing base:** il RM ha accesso ad una base di calcolo fidata (Trusted computing base, o TCB) che contiene:

- Privilegi di sicurezza (autorizzazioni di sicurezza) di ogni soggetto
- Attributi (classificazione rispetto alla sicurezza) di ciascun oggetto



#### Sistemi fidati

Il RM impone le regole di sicurezza (B-LP: no read-up, no write-down) ed ha le seguenti proprietà:

- **Mediazione completa:** le regole di sicurezza vengono applicate ad ogni accesso e non solo, ad esempio, quando viene aperto un file
- **Isolamento:** il monitor dei riferimenti e la base di dati sono protetti rispetto a modifiche non autorizzate (es. kernel)
- **Verificabilità:** la correttezza del RM deve essere provata, cioè deve essere possibile dimostrare formalmente che il monitor impone le regole di sicurezza e fornisce mediazione completa ed isolamento

Il requisito di **mediazione completa** rende preferibile, per motivi di efficienza, che la soluzione debba essere almeno parzialmente hardware.

Il requisito di **isolamento** impone che non sia possibile per chi porta l'attacco, modificare la logica del RM o il contenuto del DB centrale della sicurezza.

Il requisito della **verificabilità** è difficile da soddisfare per un sistema general-purpose.

### 3 Programmazione Concorrente

### 4 Modello a memoria comune

Esistono 2 principali modelli di interazione tra i processi:

- Modello a **memoria comune** (ambiente globale, shared memory)
- Modello a **scambio di messaggi** (ambiente locale, distributed memory)

Il modello a memoria comune rappresenta la più semplice astrazione del funzionamento di un sistema in multiprogrammazione costituito da uno o più processi che hanno accesso ad una memoria comune.

Ogni applicazione viene strutturata come un insieme di componenti, suddiviso in due sottoinsieme disgiunti:

- **Processi** (componenti attivi)
- **Risorse** (componenti passivi)

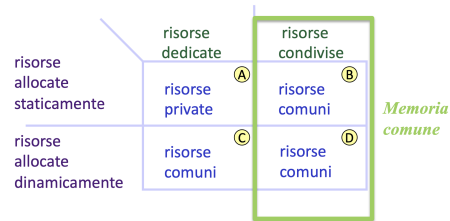
Le Risorse rappresentano un qualunque oggetto fisico o logico, di cui un processo necessita per portare a termine il suo compito. Le risorse vengono raggruppate in classi, dove una classe rappresenta l'insieme di tutte e sole le operazioni che un processo può eseguire per operare su risorse di quella classe. Ovviamente ci deve essere la necessità di specificare quali processi ed in quali istanti possono accedere alla risorsa. Quindi il **meccanismo di controllo degli accessi** si occupa di controllare che gli accessi dei processi alle risorse avvengano correttamente.

#### 4.1 Gestore delle Risorse

Per ogni risorsa **R**, il suo gestore definisce, in ogni istante  $t$ , **l'insieme  $SR(t)$  dei processi che, in tale istante, hanno il diritto di operare su R.**

Classificazione delle risorse:

- Risorsa **R dedicata**: se  $SR(t)$  ha una cardinalità sempre  $j=1$
- Risorsa **R condivisa**: in caso contrario
- Risorsa **R allocata staticamente**: se  $SR(t)$  è una costante, quindi se  $SR(t) = SR(t_0)$  per ogni  $t$



- **Risorsa R allocata dinamicamente:** se  $SR(t)$  è funzione del tempo

Per ogni risorsa **allocata staticamente**, l'insieme  $SR(t)$  è definito prima che il programma inizi la propria esecuzione; il gestore della risorsa è il programmatore che, in base alle regole del linguaggio, stabilisce quale processo può vedere e quindi operare su R.

Per ogni risorsa **allocata dinamicamente**, il relativo gestore GR definisce l'insieme  $SR(t)$  in fase di esecuzione e quindi deve essere un componente della stessa applicazione, nel quale l'allocazione viene decisa a run-time in base a politiche date.

Quindi i principali compiti del Gestore delle risorse sono:

- mantenere **aggiornato** l'insieme  $SR(t)$  e cioè lo stato di allocazione della risorsa
- fornire i **meccanismi** che un processo può utilizzare per acquisire il diritto di operare sulla risorsa, entrando a far parte dell'insieme  $SR(t)$ , e per rilasciare tale diritto quando non è più necessario
- implementare la **strategia** di allocazione della risorsa e cioè definire quando, a chi e per quanto tempo allocare la risorsa.

**Accesso a Risorsa** Consideriamo un processo P che deve operare, ad un certo istante, su una risorsa R di tipo T:

Se R è allocata **staticamente** a P (modalità A e B), il processo, se appartiene a SR, possiede diritto di operare su R in qualunque istante.

```
1 R.op(...);
```

Se R è allocata **dinamicamente** a P (modalità C e D), è necessario prevedere un gestore GR, che implementa le funzioni di Richiesta e Rilascio della risorsa; quindi il processo P deve seguire il seguente protocollo:

```
1 GR.Richiesta(...); // acquisizione della risorsa
2 R.op(...);         // esecuzione dell'operazione op su R
3 GR.Rilascio(...);  // rilascio della risorsa R
```

Se R è allocata come **risorsa condivisa**, (modalità B e D) è necessario assicurare che gli accessi avvengano in modo non divisibile: nel senso che le funzioni di accesso alla risorsa devono essere programmate come una **classe di sezioni critiche**, utilizzando meccanismi di sincronizzazione offerti dal linguaggio di programmazione e supportati dalla macchina concorrente.

Se R è allocata come **risorsa dedicata**, (modalità A e C), essendo P l'unico processo che accede alla risorsa, non è necessario prevedere alcuna forma di sincronizzazione.

**Regione critica condizionale [Hoare, Brinch-hansen]** Formalismo che permette di esprimere la specifica di qualunque vincolo di sincronizzazione. Data una risorsa R condivisa:

```
1 region R << Sa; when(C) Sb; >>
```

- tra doppie parentesi angolari il **corpo** della region che rappresenta una operazione da eseguire su una risorsa condivisa R e quindi costituisce una sezione critica che deve essere eseguita in **mutua esclusione** con le altre operazioni definite su R
- il corpo della region è costituito da due istruzioni da eseguire in sequenza: l'istruzione **Sa** e successivamente l'istruzione **Sb**
- in particolare, una volta terminata l'esecuzione di Sa viene valutata la condizione **C**:
  - se C è **vera** l'esecuzione continua con Sb
  - se C + **false** il processo che ha invocato l'operazione attende che la condizione C diventi vera. Non appena C sarà vera l'esecuzione della region potrà riprendere ed eseguire Sb

Esistono però dei casi particolari di regioni critiche:

- **region R << S; >>**: specifica della sola mutua esclusione, senza ulteriori vincoli
- **region R << when(C) >>**: specifica di un semplice vincolo di sincronizzazione, nel quale il processo deve attendere che C sia verificata prima di proseguire
- **region R << when(C) S; >>**: specifica il caso in cui la condizione C di sincronizzazione caratterizza lo stato in cui la risorsa R deve trovarsi per poter eseguire l'operazione S (C quindi è una preconditione di S)



## 4.2 Mutua Esclusione

Il problema della mutua esclusione nasce quando più di un processo alla volta può e deve accedere a variabili comuni. Quindi è di fondamentale importanza che le operazioni con le quali i processi accedono alle variabili comuni non si sovrappongano nel tempo.

Con sezione critica s'intende la sequenza di istruzioni con le quali un processo accede e modifica un insieme di variabili comuni. Ad un insieme di variabili comuni possono essere associate una sola sezione critica (usata da tutti i processi) oppure più sezioni critiche (classe di sezioni critiche).

La regola della mutua esclusione stabilisce che:

**Sezioni critiche appartenenti alla stessa classe devono escludersi mutuamente nel tempo.**

oppure

**Ad ogni istante può essere "in esecuzione" al più una sezione critica di ogni classe.**

Per specificare una sezione critica **S** che opera su una risorsa condivisa **R**:

1	<prologo>
2	S;
3	<epilogo>

Attraverso il **prologo** si ottiene l'autorizzazione ad eseguire la sezione critica, quindi **R** viene acquisita in modo esclusivo. Invece attraverso l'**epilogo** la risorsa **R** viene liberata.

Le principali soluzioni possibili alla mutua esclusione sono:

- **Algoritmiche:** (es. Algoritmi di Dekker, ecc.) la soluzione non necessita di meccanismi di sincronizzazione (es. semafori, lock, ecc.), ma sfrutta solo la possibilità di condivisione di variabili; l'attesa di un processo che trova la variabile condivisa già occupata viene modellata attraverso cicli di attesa attiva
- **Hardware-based:** ad esempio disabilitazione delle interruzioni, lock/unlock. Quindi il supporto è fornito direttamente dall'architettura HW.
- **Strumenti software di sincronizzazione realizzati dal nucleo della macchina concorrente:** prologo ed epilogo sfruttano strumenti di sincronizzazione che consentono l'effettiva sospensione dei processi in attesa ed eseguire sezioni critiche.

## 4.3 Strumenti linguistici per la programmazione di interazioni

### 4.3.1 Il Semaforo

Il semaforo è uno strumento linguistico di basso livello che consente di risolvere qualunque problema di sincronizzazione nel modello a memoria comune. È realizzato dal nucleo della macchina concorrente. L'eventuale attesa nella esecuzione può essere realizzata utilizzando i meccanismi di gestione dei thread offerti dal nucleo. Inoltre viene utilizzato per realizzare strumenti di sincronizzazione di più alto livello ad esempio le *condition*.

**Definizione:** un semaforo è una **variabile intera non negativa**, alla quale è possibile accedere solo **tramite le due operazioni P e V**.

Definizione di un oggetto di tipo **semaphore**:

```
1 semaphore s = i;    // dove i (i >= 0)    il valore  
    ↪ iniziale
```

Al tipo semaphore sono associati:

Insieme di valori =  $\{X | X \in N\}$

Insieme delle operazioni =  $\{P, V\}$

### Operazioni sul semaforo

Un oggetto di tipo semaphore è condivisibile da due o più threads, che operano su di esso attraverso le operazioni **P** e **V**.

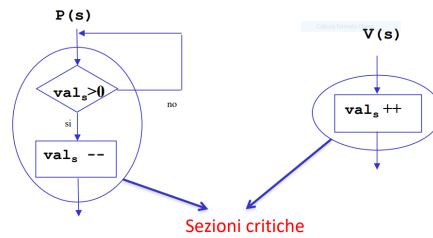
```
1 void P(semaphore s):  
2     region s << when(val_s > 0) val_s--; >>  
3  
4 void V(semaphore s):  
5     region s << val_s++; >>  
6  
7     // dove val_s rappresenta il valore del semaforo
```

Essendo **s** l'oggetto condiviso, le due operazioni **P** e **V** vengono definite come **sezioni critiche** da eseguire in mutua esclusione e in forma atomica.

Quindi il semaforo viene utilizzato come strumento di sincronizzazione tra processi concorrenti:

- **attesa:**  $P(s)$ ,  $val-s == 0$
- **risveglio:**  $V(s)$ , se vi è almeno un processo sospeso

**Proprietà del Semaforo** Dato un semaforo **S**, siano:



- $val_s$ : valore dell'intero non negativo associato al semaforo;
- $I_s$ : valore intero  $= 0$  con cui il semaforo  $s$  viene inizializzato;
- $nv_s$ : numero di volte che l'operazione  $V(s)$  è stata eseguita;
- $np_s$ : numero di volte che l'operazione  $P(s)$  è stata completata.

Ad ogni istante possiamo esprimere il valore del semafor come:

$$val_s = I_s + nv_s - np_s$$

da cui  $(val_s \geq 0)$ :

### Relazione di Invarianza

$$np_s \leq I_s + nv_s$$

La relazione di invarianza è sempre soddisfatta, per ogni semaforo, qualunque sia il suo valore e comunque sia strutturato il programma concorrente che lo usa.

Il semaforo è quindi uno strumento generale che consente la risoluzione di qualunque problema di sincronizzazione.

Esistono molti casi d'uso del meccanismo semaforico:

- semafori di mutua esclusione
- semafori evento
- semafori binari composti
- semafori condizione
- semafori risorsa
- semafori privati

### Semaforo di mutua esclusione

Il semaforo di mutua esclusione viene inizializzato ad 1. Principalmente viene utilizzato per realizzare le sezioni critiche di una stessa classe, secondo il protocollo:

```

1      class tipo_risorsa {
2          <struttura dati di ogni istanza della classe>;
3
4          semaphore mutex = 1;
5
6          public void op1() {
7              P(mutex);    // prologo
8              <sezione critica: corpo della funzione op1>;
9              V(mutex);    // epilogo
10         }
11
12         public void opN() {
13             P(mutex);    // prologo
14             <sezione critica: corpo della funzione opN>;
15             V(mutex);    // epilogo
16         }
17     }
18
19     tipo_risorsa ris;
20     ris.op1();

```

(il semaforo di mutua esclusione può assumere solo i valori 0 e 1)

In alcuni casi è consentito a più processi di eseguire contemporaneamente la stessa operazione su una risorsa, ma non operazioni diverse.

Quindi una soluzione potrebbe essere:

- definisco un semaforo mutex per la mutua esclusione tra operazioni
- prologo ed epilogo di  $op_i$  sono sezioni critiche quindi introduco un ulteriore semaforo di mutua esclusione  $m_i$

Un esempio potrebbe essere il **problema dei lettori/scrittori**.

Sia data una risorsa condivisa F (ad esempio un file) che può essere acceduta dai thread concorrenti in due modi:

- **lettura;**
- **scrittura**

Una possibile soluzione di sincronizzazione potrebbe essere:

- la lettura è consentita a più thread contemporaneamente;
- la scrittura è consentita ad un thread alla volta;
- lettura e scrittura su F non possono avvenire contemporaneamente

```

1      semaphore mutex = 1;
2      semaphore ml = 1;
3      int contl = 0;
4
5      public void lettura(...) {
6          P(ml);
7          contl++;
8
9          if(contl == 1) {
10             P(mutex);
11         }
12
13         V(ml);
14         <lettura del file>;
15         P(ml);
16         contl--;
17
18         if(contl == 0) {
19             V(mutex);
20         }
21
22         v(ml);
23     }
24
25     public void scrittura(...) {
26         P(mutex);
27         <scrittura del file>;
28         V(mutex);
29     }

```

### Semaforo evento

Un semaforo evento è un semaforo binario utilizzato per imporre un **vincolo di precedenza** tra le operazioni dei processi. (ad es.  $op_a$  deve essere eseguita da P1 solo dopo che P2 ha eseguito  $op_b$ ).

Introduciamo quindi un semaforo **sem** inizializzato a **zero**:

- prima di eseguire  $op_a$ , P1 esegue P(sem)
- dopo aver eseguito  $op_b$ , P2 esegue V(sem)

problema del rendez-vous slide 48

### Semafori binari composti

Un insieme di semafori usato in modo tale che:

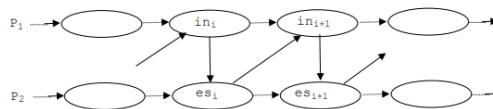
- uno solo di essi sia inizializzato a 1 e tutti gli altri a 0

- ogni processo che usa questi semafori esegue sempre sequenze che iniziano con la P su uno di questi e termina con la V su un altro.

Due processi P1 e P2 si scambiano dati di tipo T utilizzando una memoria condivisa (buffer).

Quindi devono esserci dei vincoli di sincronizzazione:

- accessi al buffer mutuamente esclusivi
- P2 può prelevare un dato solo dopo che P1 lo abbia inserito
- P1, prima di inserire un dato, deve attendere che P2 abbia estratto il precedente



Utilizziamo quindi due semafori:

- **vu**, per realizzare l'attesa di P1, in caso di buffer pieno
- **pn**, per realizzare l'attesa di P2, in caso di buffer vuoto

Buffer inizialmente vuoto,  $vu = 1$ ,  $pn = 0$

<pre> 1  void invio(T dato)     ↪{ 2      P(vu); 3      inserisci(dato)     ↪; 4      V(pn); 5  }</pre>	<pre> 1  T ricezione() { 2      T dato; 3      P(pn); 4      dato = estrai()     ↪; 5      V(vu); 6      return dato; 7  }</pre>
---	--

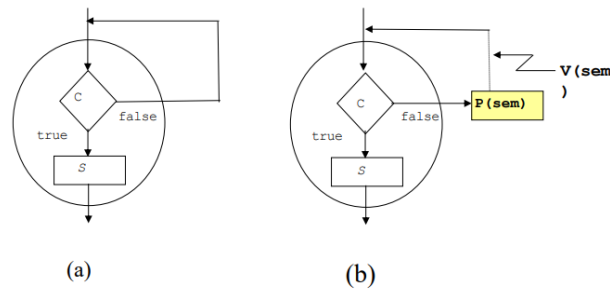
### Semaforo condizione

In alcuni casi l'esecuzione di un'istruzione S1 su una risorsa R è subordinata al verificarsi di una condizione C:

```

1  void op1(): region R << when(C) S1; >>
```

Il processo deve sospendersi se la condizione non è verificata e deve uscire dalla regione per consentire ad altri processi di eseguire altre operazioni su R per rendere vera la condizione C.



- Lo schema (a) presuppone una forma di attesa attiva da parte del processo che non trova soddisfatta la condizione
- Nello schema (b) si realizza la region sospendendo il processo sul semaforo sem da associare alla condizione.
  - è necessaria un'altra operazione op2 che, chiamata da un'altro processo, modifichi lo stato interno di R in modo che C diventi vera
  - nell'ambito di op2 viene eseguita la `V(sem)` per risvegliare il processo

Schema con **attesa circolare**

```

1 semaphore mutex = 1;
2 semaphore sem = 0;
3 int csem = 0;

1 public void op1() {
2     P(mutex);
3     while(!C) {
4         csem++;
5         V(mutex);
6         P(sem);
7         P(mutex);
8     }
9     S1;
10    V(mutex);
11 }

1 public void op2() {
2     P(mutex);
3     S2;
4     if(csem > 0) {
5         csem--;
6         V(sem);
7     }
8     V(mutex);
9 }

```

Schema con **passaggio di testimone**:

```

1 semaphore mutex = 1;
2 semaphore sem = 0;
3 int csem = 0;

```

```

1 public void op1() {
2     P(mutex);
3     if(!C) {
4         csem++;
5         V(mutex);
6         P(sem);
7         csem--;
8     }
9     S1;
10    V(mutex);
11 }

```

```

1 public void op2() {
2     P(mutex);
3     S2;
4     if(C && csem > 0) {
5         V(sem);
6     } else {
7         V(mutex);
8     }
9 }

```

Questo secondo schema è più efficiente del primo ma ha comunque delle limitazioni. Permette di risvegliare un solo processo alla volta poichè ad uno solo può passare il diritto di operare in mutua esclusione. Inoltre la condizione C (precondizione di S1) deve essere verificabile anche all'interno di op2. Ciò significa che non deve contenere variabili locali o parametri della funzione op1.

### Semaforo condizione

I semafori risorsa sono semafori generali, quindi possono assumere qualunque valore  $\neq 0$ . Vengono generalmente impiegati per realizzare l'allocazione di risorse equivalenti, nel quale il valore del semaforo rappresenta il numero di risorse libere.

```

1 class tipo_gestore {
2     semaphore mutex = 1;    // semaforo di mutua esclusione
3     semaphore n_ris = N;    // semaforo risorsa
4     boolean libera[N];      // indicatori di risorsa libera
5
6     public tipo_gestore() {
7         for(int i = 0; i < N; i++) {
8             libera[i] = true;    // inizializzazione
9         }
10    }
11
12    public int richiesta() {
13        int i = 0;
14        P(n_ris);
15        P(mutex);
16        while(libera[i] == false) {
17            i++;
18        }
19        libera[i] = false;
20        V(mutex);
21        return i;
22    }

```



```

23
24     public ovoid rilascio(int r) {
25         P(mutex);
26         libera[r] = true;
27         V(mutex);
28         V(n_ris);
29     }
30 }

```

Leggere esempi sulle condizioni di sincronizzazione.

### Semaforo privato

Un semaforo S si deve privato per un processo quando solo tale processo può eseguire la primitiva P sul semaforo S. La primitiva V sul semaforo può essere invece eseguita da qualunque processo. Generalmente un semaforo privato viene inizializzato con il valore zero.

I semafori privati vengono utilizzati per realizzare particolari politiche di allocazione di risorse:

- il processo che acquisisce la risorsa può eventualmente sospendersi sul suo semaforo privato (se la condizione di sincronizzazione non è rispettata)
- chi rilascia la risorsa, risveglierà uno tra i processi sospesi, in base alla politica scelta, mediante una V sul semaforo privato del processo scelto.

Allocazione di risorse, **primo schema**:

```

1  class tipo_gestore_risorsa {
2      <struttura dati del gestore>;
3      semaphore mutex = 1;
4      semaphore priv[n] = {0, 0, ..., 0}; // semafori privati
5
6      public void acquisizione(int i) {
7          P(mutex);
8          if(<condizione di sincronizzazione>) {
9              <allocazione della risorsa>;
10             V(priv[i]);
11         } else {
12             <registra la sospensione del processo>;
13         }
14         V(mutex);
15         P(priv(i));
16     }
17
18     public void rilascio() {
19         int i;
20         P(mutex);

```

```

21     <rilascio della risorsa>;
22     if(<esiste almeno un processo sospeso per il quale
23         ↪la condizione risulta true>) {
24         <scelta fra i processi sospesi quello destinato
25             ↪alla riattivazione (Pi)>;
26         <allocazione della risorsa a Pi>;
27         <registrare che Pi non e piu sospeso>;
28         V(priv[i]);
29     }
30     V(mutex);
31 }

```

Proprietà del primo schema:

- la sospensione del processo, nel caso in cui la condizione di sincronizzazione non sia soddisfatta, non può avvenire entro la sezione critica in quanto ciò impedirebbe ad un processo che rilascia la risorsa di accedere a sua volta alla sezione critica e di riattivare il processo sospeso. E quindi la sospensione avviene fuori dalla sezione critica.
- la specifica del particolare algoritmo di assegnazione della risorsa non è opportuno che sia realizzata nella primitiva V.
- questo schema può presentare i seguenti problemi:
  - l'operazione P sul semaforo privato viene sempre eseguita anche quando il processo richiedente non deve essere bloccato
  - il codice relativo all'assegnazione della risorsa viene duplicato nelle procedure acquisizione e rilascio

Allocazione di risorse, **secondo schema** (supera i limiti del primo):

```

1  class tipo_gestore_risorsa {
2      <struttura dati del gestore>;
3      semaphore mutex = 1;
4      semaphore priv[n] = {0, 0, ..., 0};
5
6      public void acquisizione(int i) {
7          P(mutex);
8          if(! <condizione di sincronizzazione>) {
9              <registrare la sospensione del processo>;
10             V(mutex);
11             P(priv[i]);
12             <registrare che il processo non e piu sospeso>;
13         }
14         <allocazione della risorsa>;
15         V(mutex);

```

```

16     }
17
18     public void rilascio() {
19         int i;
20         P(mutex);
21         <rilascio della risorsa>;
22         if(<esiste almeno un processo sospeso per il quale
23             ↪la condizione risulta true>) {
24             <scelta del processo Pi da riattivare>;
25             V(priv[i]);
26         } else {
27             V(mutex);
28         }
29     }

```

Rispetto al primo schema, in questa soluzione risulta più complesso realizzare la riattivazione di più processi per i quali risulti vera contemporaneamente la condizione di sincronizzazione. Infatti il processo che rilascia la risorsa attiva al più un processo sospeso, il quale dovrà a sua volta provvedere alla riattivazione di eventuali altri processi.

## 5 Realizzazione del nucleo

Si chiama **nucleo** (o 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 basato su 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 consio 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. Non appena l'azione viene completata, il relativo segnale di interruzione iviato 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.

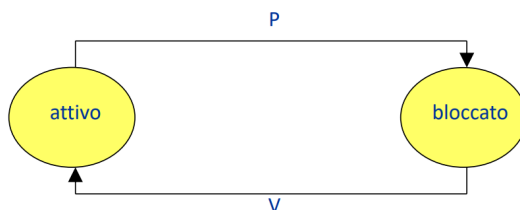
## 5.1 Caratteristiche fondamentali del nucleo

**Efficienza:** condiziona l'intera struttura a processi. Infatti esistono dei sistemi in cui alcune o tutte le operazioni del nucleo sono realizzate in hardware o attraverso microprogrammi.

**Dimensioni:** la semplicità delle funzioni richieste al nucleo fa sì che la sua dimensione risulti estremamente limitata.

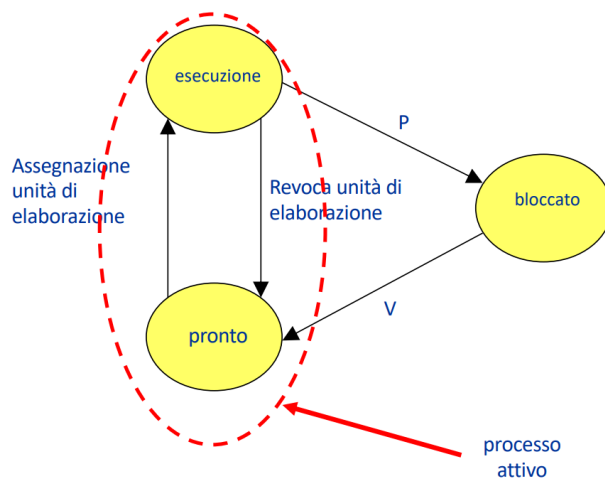
**Separazione tra meccanismi e politiche:** il nucleo deve contenere solo meccanismi consentendo così, a livello di processi, di utilizzare tali meccanismi per la realizzazione di diverse politiche di gestione a seconda del tipo di applicazione.

Stati di un processo:



Le transizioni tra i due stati sono implementate dai meccanismi di sincronizzazione realizzati dal nucleo. **P** per sospensione e **V** per risveglio.

Stati di un processo in un sistema 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 processo 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.

Quindi la funzione fondamentale del nucleo di un sistema a processi è la gestione delle transizioni di stato dei processi. I principali compiti del nucleo sono:

- **Gestire il salvataggio e il ripristino dei contesti dei processi:** quando un processo abbandona il controllo dell'unità di elaborazione fisica, tutte le informazioni contenute nei registri di tale unità devono essere trasferite nel descrittore. Allo stesso modo, quando un processo riprende l'esecuzione tutte le informazioni contenute nel suo descrittore devono essere trasferite nei registri di macchina
- **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.
- **Gestire le interruzioni dei dispositivi esterni:** traducendole in attivazione di processi da bloccato a pronto.
- **Realizzare i meccanismi di sincronizzazione dei processi:** gestendo il passaggio dei processi dallo stato di esecuzione allo stato di bloccato e da bloccato a pronto.

## 5.2 Realizzazione del Nucleo: Architettura monoprocesore

### 5.2.1 Strutture Dati del Nucleo

Il **Descrittore del processo** è la principale struttura dati del nucleo, e contiene le seguenti informazioni:

- **Identificatore del processo:** nome che identifica univocamente il processo durante il suo tempo di vita
- **Stato del processo**
- **Modalità di Servizio:** contiene parametri di scheduling
  - FIFO
  - Priorità (fissa o variabile)
  - Deadline (tempo massimo entro il quale la richiesta può essere soddisfatta)
  - Quanto di tempo (sistemi time sharing)

- **Contesto del processo:** program counter, registro di stato, registri generali, indirizzo dell'area di memoria privata del processo.
- **Code di processo:** a seconda del loro stato i processi vengono inseriti in apposite code. Ogni descrittore contiene l'identificatore del processo successivo nella stessa coda.

```

1 typedef struct {
2     int indice_priorit ;
3     int delta_t;
4 } modalit_di_servizio;
5
6 typedef struct {
7     int nome;
8     modalit_di_servizio servizio;
9     tipo_contesto contesto;
10    tipo_stato stato;    // running, ready, waiting, ecc.
11    int successivo;
12 } descrittore_processo;
13
14 descrittore_processo descrittori[num_max_proc];

```

Listing 1: Realizzazione descrittore del processo

### 5.2.2 Coda dei processi pronti

Esistono sempre una o più **code di processi pronti**. Non appena un processo viene riattivato tramite una **v** viene inserito in fondo alla coda corrispondente alla sua priorità.

La coda dei processi pronti contiene sempre almeno un **dummy process** il quale viene messo in esecuzione solamente quando tutte le altre code sono vuote e rimane in esecuzione fino a quando qualche altro processo diventa pronto. Inoltre il dummy process ha la priorità più bassa ed è sempre nello stato di pronto.

Listing 2: Esempio di realizzazione coda dei processi pronti

```

1 typedef struct {
2     int primo;
3     int ultimo;
4 } descrittore_coda;
5
6 typedef descrittore_coda coda_a_livelli[Npriorita];
7
8 coda_a_livelli coda_processi_pronti;
9
10 // Inserimento => inserisce il processo di indice P nella
    ↪ coda C

```

```

11 void Inserimento(int P, descrittore_coda C) {
12
13 }
14
15 // Prelievo => estrae il primo processo dalla coda C e
    ↳ restituisce il suo indice
16 int Prelievo(descrittore_coda C) {
17
18 }

```

#### Coda dei descrittori liberi:

Coda nella quale sono concatenati i descrittori disponibili per la creazione di nuovi processi e nella quale sono reinseriti i descrittori dei processi terminati

#### 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 una particolare variabile del nucleo. Quando il nucleo viene inizializzato, viene creato un processo e l'indice del processo viene assegnato a  $processo_{indice\_esecuzione}$ .

### 5.3 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.

A tale scopo vengono utilizzate 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.

Le funzioni del nucleo vengono suddivise in due livelli:

- **Livello Superiore:** il quale contiene tutte le funzioni direttamente utilizzabili dai processi sia esterni che interni, quali risposta ai segnali di interruzione e primitive per la creazione, eliminazione e sincronizzazione dei processi.
- **Livello Inferiore:** il quale realizza tutte le funzionalità di cambio di contesto, ad esempio salvataggio del contesto del processo che si sospende nel suo descrittore, scelta di un nuovo processo da mettere in esecuzione tra quelli pronti e ripristino del suo contesto.

L'ambiente di esecuzione delle funzioni del nucleo ha caratteristiche distinte dal quello dei processi. Infatti, per motivi di protezione, le funzioni del nucleo sono le uniche che:

- possono operare sulle strutture dati che rappresentano lo stato del sistema (descrittori, code di descrittori, semafori, ecc..)

- possono utilizzare istruzioni privilegiate (abilitazione e disabilitazione delle interruzioni, ecc)

Le funzioni del nucleo devono essere eseguite in modo mutuamente esclusivo. Inoltre i due ambienti di esecuzione (nucleo e processi utente) corrispondono a stati diversi di operazione dell'elaboratore (kernel e user). E il meccanismo di passaggio da uno all'altro è basato sul meccanismo delle interruzioni.

In particolare:

- 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**
- Nel caso di funzioni chiamate da **processi interni**, il passaggio è ottenuto tramite l'esecuzione di **system calls**
- In entrambi i casi, al completamento della funzione richiesta, il trasferimento all'ambiente user avviene tramite il meccanismo di **ritorno da interruzione (RTI)**

### 5.3.1 Funzione di livello inferiore: Cambio di Contesto

La funzione di cambio di contesto è costituita da 3 principali fasi:

#### Salvataggio dello stato:

Salvataggio del contesto del processo in esecuzione nel suo descrittore e inserimento del descrittore nella coda dei processi bloccati o dei processi pronti.

```

1 void Salvataggio_stato() {
2     int j;
3     j = processo_in_esecuzione;
4     descrittori[j].contesto = <valori dei registri CPU>;
5 }

```

#### Assegnazione della CPU

Rimozione del processo a maggiore priorità dalla coda dei pronti e caricamento dell'identificatori di tale processo nel registro processo in esecuzione.

```

1 // scheduling: algoritmo con priorit 
2 void Assegnazione_CPU() {
3     int k = 0, j;
4     while(coda_processi_pronti[k].primo == -1) {
5         k++;
6     }
7
8     j = Prelievo(coda_processi_pronti[k]);
9     processo_in_esecuzione = j;
10 }

```



### Ripristino dello stato:

Caricamento del processo del nuovo processo nei registri di macchina.

```
1 void Ripristino_stato() {
2     int j;
3     j = processo_in_esecuzione;
4     <registro-temp> = descrittori[j].servizio.delta_t;
5     <registro-CPU> = descrittori[j].contesto;
6 }
```

### Gestione del temporizzatore:

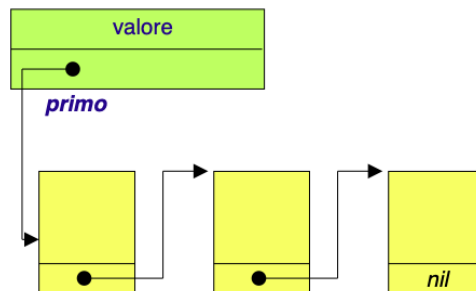
Per consentire la modalità di servizio a divisione di tempo è necessario che il nucleo gestisca un **dispositivo temporizzatore** tramite un'apposita procedura che ad intervalli di tempo fissati, provveda a sospendere il processo in esecuzione ed assegnare l'unità di elaborazione ad un altro processo.

```
1 void Cambio_di_Contesto() {
2     int j, k;
3     Salvataggio_stato();
4     j = processo_in_esecuzione;
5     k = descrittori[j].servizio.priorit ;
6     Inserimento(j, coda_processi_pronti[k]);
7     Assegnazione_CPU();
8     Ripristino_stato();
9 }
```

## 5.4 Realizzazione Semaforo (caso monoprocesso)

Nel nucleo di un sistema monoprocesso il semaforo può essere implementato tramite:

- una variabile intera che rappresenta il suo valore ( $i=0$ )
- un puntatore ad una lista di descrittori di processi in attesa sul semaforo (bloccati)



Se non sono presenti semafori in coda, il puntatore alla lista contiene la costante **nil**.

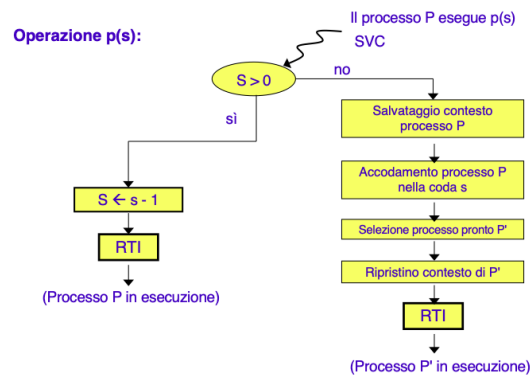
La coda viene gestita con politica FIFO, e quindi i processi risultano ordinati secondo il loro tempo di arrivo nella coda associata al semaforo.

Il descrittore di un processo viene inserito nella coda del semaforo come conseguenza di una primitiva *p* non passante, e viene prelevato per effetto di una *v*.

```

1 // gestione dei processi basata su priorit => associamo al
  ↳ semaforo un insieme di code (una per priorit )
2
3 typedef struct {
4     int contatore;
5     coda_a_livelli coda;
6 } descr_semaforo;

```



```

1 // insieme di tutti i semafori
2 descr_semaforo semafori[num_max_sem];
3
4 //ogni semaforo rappresentato dall'indice che lo
  ↳ individua nel vettore semafori
5 typedef int semaforo;
6
7 void P(semaforo s) {
8     int j, k;
9     if(semafori[s].contatore == 0) {
10         Salvataggio_stato();
11         j = processo_in_esecuzione;
12         k = descrittori[j].servizio.priorita;
13         Inserimento(j, semafori[s].coda[k]);
14         Assegnazione_CPU();
15         Ripristino_stato();
16     } else {

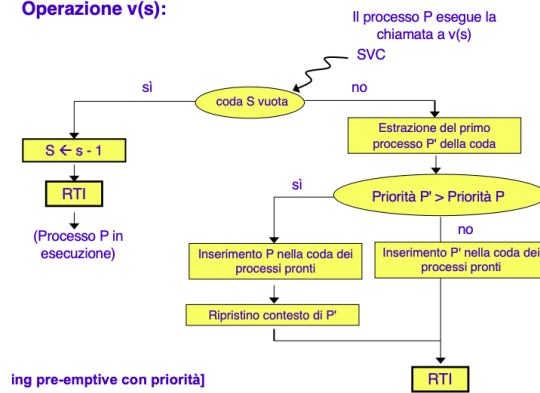
```

```

17     contatore--;
18 }
19 }

```

#### Operazione v(s):



```

1 void V(semaforo s) {
2     int j, k, p, q; // j,k: processi; p,q: indici prioritari
3     q = 0;
4
5     while(semafori[s].coda[q].primo == -1 && q <
6         ↳ min_priorita) {
7         q++;
8     }
9
10    if(semafori[s].coda[q].primo != -1) {
11        k = Prelievo(semafori[s].coda[q]);
12        j = processo_in_esecuzione;
13        p = descrittori[j].servizio.priorita;
14        if(p < q) {
15            // il processo in esecuzione prioritario
16            Inserimento(k, coda_processi_pronti[q]);
17        } else {
18            // preemption
19            Salvataggio_stato();
20            Inserimento(j, coda_processi_pronti[p]);
21            processo_in_esecuzione = k;
22            Ripristino_stato();
23        }
24    } else {
25        semafori[s].contatore++;
26    }
27 }

```

## 5.5 Passaggio da ambiente di nucleo all'ambiente processi e viceversa

Il passaggio da ambiente di nucleo all'ambiente di processi e viceversa è basato sul meccanismo di **interruzioni** (interne o asincrone, interne o sincrone). In entrambi i casi, al completamento della funzione richiesta, il passaggio avviene sfruttando il meccanismo di ritorno da interruzione.

Ad ogni processo è associata una pila (stack) gestita tramite il registro stack pointer. La pila rappresenta l'area di lavoro del processo e contiene variabili temporanee ed i record di attivazione delle procedure chiamate.

I registri presenti sono: PC e PS (registro di stato), R1,...,Rn, R'1,...,R'n, 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
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 P)
5. P passante: esecuzione di ritorno dall'interruzione che ripristina in PC e PS i valori del processo contenuti nella pila del nucleo
6. P bloccante (non passante): salvataggio stato

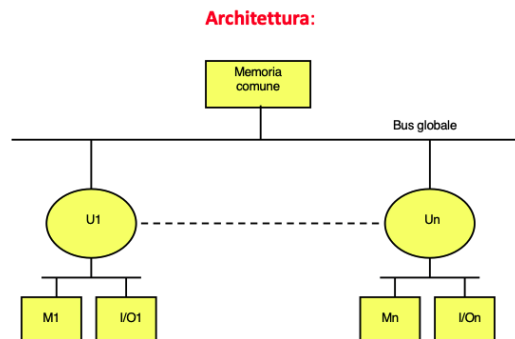
## 5.6 Architettura Multiprocessore: realizzazione del nucleo

### Sistemi operativi multiprocessore: organizzazione interna

Un sistema operativo che esegue su un'architettura multiprocessore deve gestire una molteplicità di CPU, ognuna delle quali può accedere alla stessa memoria condivisa.

Esistono principalmente due modelli:

- **Modello SMP**: unica copia del nucleo condivisa tra tutte le CPU
- **Modello a nuclei distinti**: più istanze del nucleo concorrenti



### 5.6.1 Modello SMP: Simmetric Multi Processing

In questo modello è presente un'unica copia del nucleo del sistema operativo allocata nella memoria comune che si occupa della gestione di tutte le risorse disponibili, comprese le CPU. Ogni processi può essere allocato su una qualunque CPU. Inoltre è possibile che processi che eseguono su CPU diverse richiedano contemporaneamente funzioni del nucleo ad esempio le System Call. E dato che ogni funzione del nucleo comporta un accesso alle strutture dati interne al nucleo, occorre regolare gli accessi al nucleo in modo che avvengano in modo sincronizzato.

**Sincronizzazione nell'accesso al nucleo:**

**Soluzione ad un solo lock:**

Viene associato al nucleo **un Lock L**, per garantire la mutua esclusione nell'esecuzione di funzioni del nucleo da parte di processi diversi: l'accesso esclusivo alle sue strutture dati può essere ottenuto delimitando il corpo di ogni richiesta per il nucleo con le primitive **lock** e **unlock** applicate all'**unico Lock l**.

Il problema fondamentale di questa soluzione è la **limitazione del grado di parallelismo**, escludendo a priori ogni possibilità di esecuzione contemporanea di funzioni del nucleo che operano su strutture dati distinte.

**Soluzione a più lock:**

Un maggiore parallelismo può essere ottenuto individuando all'interno del nucleo diverse classi di sezioni critiche, ognuna associata a una struttura dati separata e sufficientemente indipendente dalle altre. Ad ogni struttura dati viene associato un lock distinto.

Ad esempio la coda dei processi pronti, i singoli semafori, ecc, vengono protetti tramite lock distinti.

Ogni operazione del nucleo che richiederà l'accesso a una particolare struttura

$$S_i$$

protetta dal lock

$$L_i$$

, conterrà una sezione critica il cui prologo ed epilogo saranno rispettivamente

$$\text{lock}(L_i)$$

e

$$\text{unlock}(L_i)$$

.

### Scheduling dei processi:

Il modello SMP consente la schedulazione di ogni processo su uno qualunque dei processori attraverso la **load balancing**, ovvero la possibilità di attuare politiche di distribuzione equa del carico sui processori.

Tuttavia, in alcuni casi può risultare più conveniente assegnare un processo ad un determinato processore:

- i processori possono accedere più rapidamente alla loro memoria privata piuttosto che a quella remota, quindi potrebbe convenire schedare il processo sul processore la cui memoria privata già contiene il suo codice.
- in sistemi NUMA l'accesso alla memoria "più vicina" è più rapido: conviene schedare il processo sul processore più vicino alla memoria ove è allocato il suo spazio di indirizzamento
- i processori hanno memoria cache. Il processo dovrebbe essere assegnato al processore sul quale era stato precedentemente eseguito.

### 5.6.2 Modello a nuclei distinti

In questo modello la struttura interna del sistema operativo è articolata su più nucleo, ognuno dedicato alla gestione di una diversa CPU.

L'assunzione di base è che l'insieme dei processi che eseguiranno nel sistema sia partizionabile in tanti sottoinsiemi (nodi virtuali) laceramente connessi, cioè con un ridotto numero di interazioni reciproche:

- Ciascun nodo virtuale è associato ad un nodo fisico: esso è gestito da un nucleo distinto e pertanto tutte le strutture dati del nucleo relative al nodo virtuale vengono allocate sulla memoria privata del nodo fisico
- In questo modo tutte le interazioni locali al nodo virtuale possono avvenire indipendentemente e concorrentemente a quelle di altri nodi virtuali, facendo riferimento al nucleo del nodo.

Solo le interazioni tra processi appartenenti a nodi virtuali diversi utilizzano la memoria comune.

### 5.6.3 Organizzazione SMP vs nuclei distinti

- **Grado di parallelismo tra CPU:** il modello a nuclei distinti è più vantaggioso, in quanto il grado di accoppiamento tra CPU è più basso. Maggiore scalabilità.
- **Gestione ottimale delle risorse computazionali:**
  - il modello SMP fornisce i presupposti per un migliore bilanciamento del carico tra le CPU perchè lo scheduler può decidere di allocare ogni processo su qualunque CPU.
  - il secondo modello vincola ogni processo ad essere schedulato sempre sullo stesso nodo.

#### Realizzazione dei semafori nel modello SMP

Tutte le CPU condividono lo stesso nucleo: per sincronizzare gli accessi al nucleo, le struttura dati del nucleo vengono protette tramite lock.

In particolare, i sinfili semafori e la coda dei processi pronti vengono protetti tramite **lock distinti**.

In questo caso due operazioni P 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.

## 6 Modello a scambio di messaggi