

Sistemi Operativi

Modulo 4: Gestione risorse e deadlock *A.A. 2021-22*

Renzo Davoli
Alberto Montresor

Copyright © 2002-2024 Renzo Davoli, Alberto Montresor

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license can be found at: <http://www.gnu.org/licenses/fdl.html#TOC1>

**"When two trains approach each other at a crossing,
both shall come to a full stop and neither shall start
up again until the other has gone"**

Legge del Kansas
di inizio secolo scorso

Risorse

- ♦ Un sistema di elaborazione è composto da un insieme di risorse da assegnare ai processi presenti
- ♦ I processi competono nell'accesso alle risorse
- ♦ Esempi di risorse
 - ♦ memoria
 - ♦ stampanti
 - ♦ processore
 - ♦ dischi
 - ♦ interfaccia di rete
 - ♦ descrittori di processo

Classi di risorse

- ♦ Le risorse possono essere suddivise in classi
 - ♦ le risorse appartenenti alla stessa classe sono equivalenti
 - ♦ esempi: byte della memoria, stampanti dello stesso tipo, etc.
- ♦ Definizioni:
 - ♦ le risorse di una classe vengono dette *istanze* della classe
 - ♦ il numero di risorse in una classe viene detto *molteplicità* del tipo di risorsa
- ♦ Un processo non può richiedere una specifica risorsa, ma solo una risorsa di una specifica classe
 - ♦ una richiesta per una classe di risorse può essere soddisfatta da qualsiasi istanza di quel tipo

Assegnazione delle risorse

- ♦ **Risorse ad assegnazione statica**
 - ♦ avviene al momento della creazione del processo e rimane valida fino alla terminazione
 - ♦ esempi: *descrittori di processi, aree di memoria (in alcuni casi)*
- ♦ **Risorse ad assegnazione dinamica**
 - ♦ i processi
 - ♦ richiedono le risorse durante la loro esistenza
 - ♦ le utilizzano una volta ottenute
 - ♦ le rilasciano quando non più necessarie (eventualmente alla terminazione del processo)
 - ♦ esempi: *periferiche di I/O, aree di memoria (in alcuni casi)*

Tipi di richieste

- ◆ **Richiesta singola:**
 - ◆ si riferisce a una singola risorsa di una classe definita
 - ◆ è il caso normale
- ◆ **Richiesta multipla**
 - ◆ si riferisce a una o più classi, e per ogni classe, ad una o più risorse
 - ◆ deve essere soddisfatta integralmente

Tipi di richieste



- ◆ **Richiesta bloccante**

- ◆ il processo richiedente si sospende se non ottiene immediatamente l'assegnazione
- ◆ la richiesta rimane pendente e viene riconsiderata dalla funzione di gestione ad ogni rilascio

- ◆ **Richiesta non bloccante**

- ◆ la mancata assegnazione viene notificata al processo richiedente, senza provocare la sospensione

Tipi di risorse

- ◆ **Risorse non condivisibili (seriali)**
 - ◆ una singola risorsa non può essere assegnata a più processi contemporaneamente
 - ◆ esempi:
 - ◆ i processori
 - ◆ le sezioni critiche
 - ◆ le stampanti
- ◆ **Risorse condivisibili**
 - ◆ esempio:
 - ◆ file di sola lettura

Risorse prerilasciabili ("preemptable")

- ◆ **Definizione**

- ◆ una risorsa si dice prerilasciabile se la funzione di gestione può sottrarla ad un processo prima che questo l'abbia effettivamente rilasciata

- ◆ **Meccanismo di gestione:**

- ◆ il processo che subisce il prerilascio deve sospendersi
- ◆ la risorsa prerilasciata sarà successivamente restituita al processo

Risorse prerilasciabili

- ♦ Una risorsa è prerilasciabile:
 - ♦ se il suo stato non si modifica durante l'utilizzo
 - ♦ oppure il suo stato può essere facilmente salvato e ripristinato
- ♦ Esempi:
 - ♦ processore
 - ♦ blocchi o partizioni di memoria
(nel caso di assegnazione dinamica)

Risorse non prerilasciabili

- ◆ **Definizione**

- ◆ la funzione di gestione non può sottrarle al processo al quale sono assegnate
- ◆ sono non prerilasciabili le risorse il cui stato non può essere salvato e ripristinato

- ◆ **Esempi**

- ◆ stampanti
- ◆ classi di sezioni critiche
- ◆ partizioni di memoria
(nel caso di gestione statica)

Deadlock



- ◆ Come abbiamo visto
 - ◆ i deadlock impediscono ai processi di terminare correttamente
 - ◆ le risorse bloccate in deadlock non possono essere utilizzati da altri processi
- ◆ Ora vediamo
 - ◆ le condizioni che necessarie affinché un deadlock si presenti
 - ◆ le tecniche che possono essere utilizzate per gestire il problema dei deadlock

Condizioni per avere un deadlock

- ♦ **Mutua esclusione / non condivisibili**
 - ♦ le risorse coinvolte devono essere non condivisibili (seriali)
- ♦ **Assenza di prerilascio**
 - ♦ le risorse coinvolte non possono essere prerilasciate, ovvero devono essere rilasciate volontariamente dai processi che le controllano
- ♦ **Richieste bloccanti (detta anche "hold and wait")**
 - ♦ le richieste devono essere bloccanti, e un processo che ha già ottenuto risorse può chiederne ancora

Condizioni per avere un deadlock

- ◆ **Attesa circolare**

- ◆ esiste una sequenza di processi P_0, P_1, \dots, P_n , tali per cui P_0 attende una risorsa controllata da P_1 , P_1 attende una risorsa controllata da P_2, \dots , e P_n attende una risorsa controllata da P_0

- ◆ **L'insieme di queste condizioni è necessario e sufficiente**

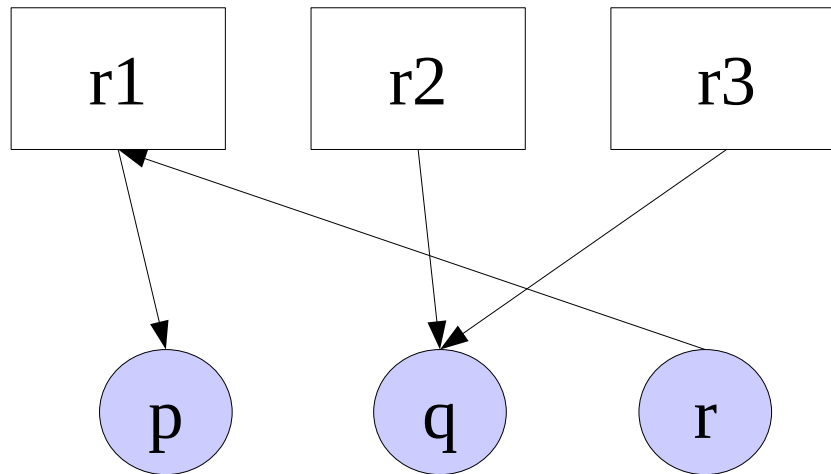
- ◆ devono valere tutte contemporaneamente affinché un deadlock si presenti nel sistema

Grafo di Holt

- ♦ **Caratteristiche**

- ♦ è un grafo *diretto*
 - ♦ gli archi hanno una direzione
- ♦ è un grafo *bipartito*
 - ♦ i nodi sono suddivisi in due sottoinsiemi e non esistono archi che collegano nodi dello stesso sottoinsieme
 - ♦ i sottoinsiemi sono *risorse* e *processi*
- ♦ gli archi *risorsa* → *processo* indicano che la risorsa è assegnata al processo
- ♦ gli archi *processo* → *risorsa* indicano che il processo ha richiesto la risorsa

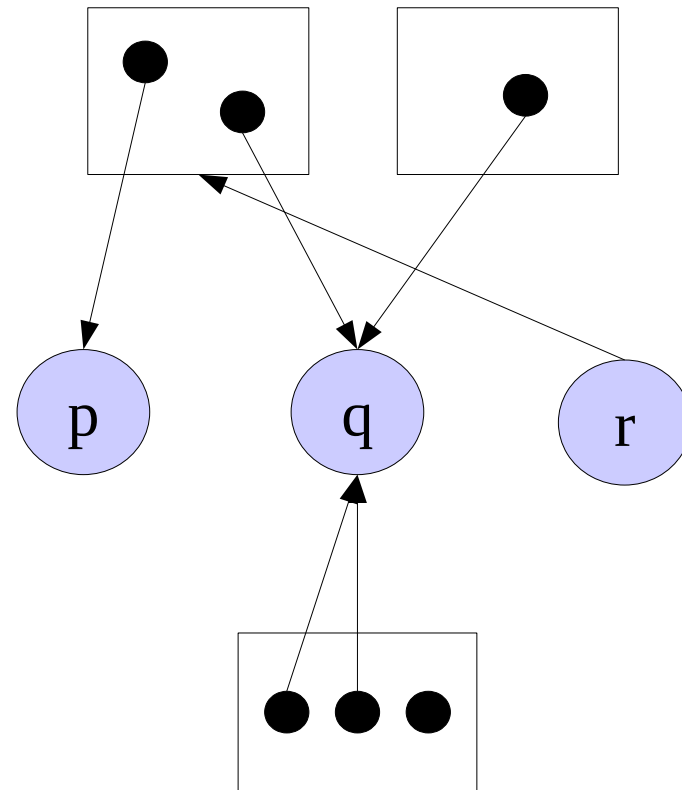
Grafo di Holt - Esempio



Grafo di Holt generale

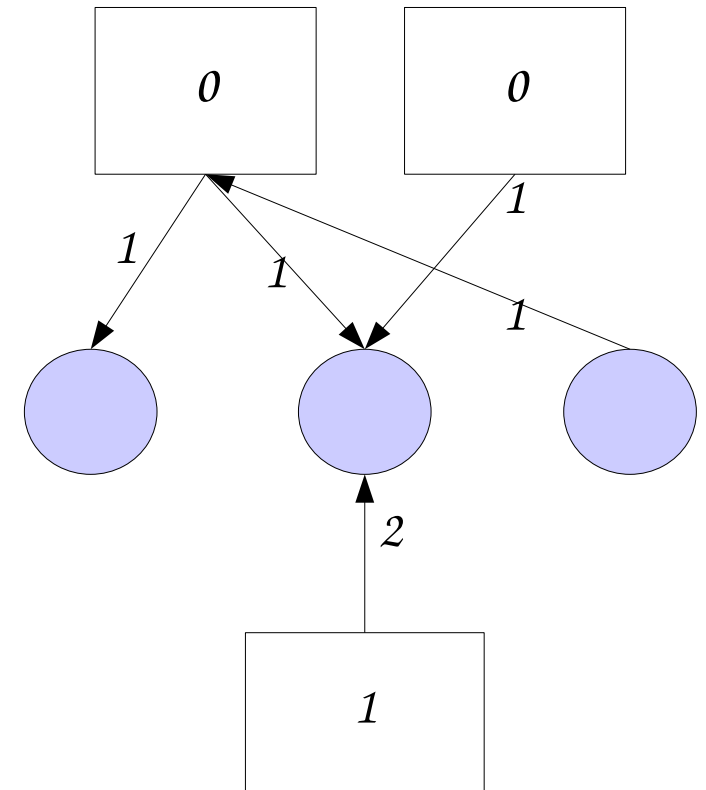
- ◆ Nel caso di classi contenenti più istanze di una risorsa
 - ◆ l'insieme delle risorse è partizionato in classi e gli archi di richiesta sono diretti alla classe e non alla singola risorsa
- ◆ Rappresentazione
 - ◆ i processi sono rappresentati da *cerchi*
 - ◆ le classi sono rappresentati come *contenitori rettangolari*
 - ◆ le risorse come *punti* all'interno delle classi
- ◆ Nota:
 - ◆ non si rappresentano grafi di Holt con archi relativi a richieste che possono essere soddisfatte
 - ◆ se esiste almeno un'istanza libera della risorsa richiesta, la risorsa viene assegnata

Grafo di Holt generale - Esempio



Grafo di Holt - Notazione operativa

- ◆ Nell'implementazione il grafo di Holt viene memorizzato come grafo pesato (con pesi ai nodi risorsa e pesi sugli archi)
- ◆ sugli archi:
 - ◆ la molteplicità della richiesta (archi processo → classe)
 - ◆ la molteplicità dell'assegnazione (archi classe → processo)
- ◆ all'interno delle classi
 - ◆ il numero di risorse non ancora assegnate



Metodi di gestione dei deadlock

- ◆ **Deadlock detection and recovery**
 - ◆ permettere al sistema di entrare in stati di deadlock; utilizzare un algoritmo per rilevare questo stato ed eventualmente eseguire un'azione di recovery
- ◆ **Deadlock prevention / avoidance**
 - ◆ impedire al sistema di entrare in uno stato di deadlock
- ◆ **Ostrich algorithm (Algoritmo dello struzzo)**
 - ◆ ignorare il problema del tutto!

Deadlock detection

- ◆ **Descrizione**

- ◆ mantenere aggiornato il grafo di Holt, registrando su di esso tutte le assegnazioni e le richieste di risorse
- ◆ utilizzare il grafo di Holt al fine di riconoscere gli stati di deadlock

- ◆ **Problema:**

- ◆ come riconoscere uno stato di deadlock?

Caso 1 - Una sola risorsa per classe

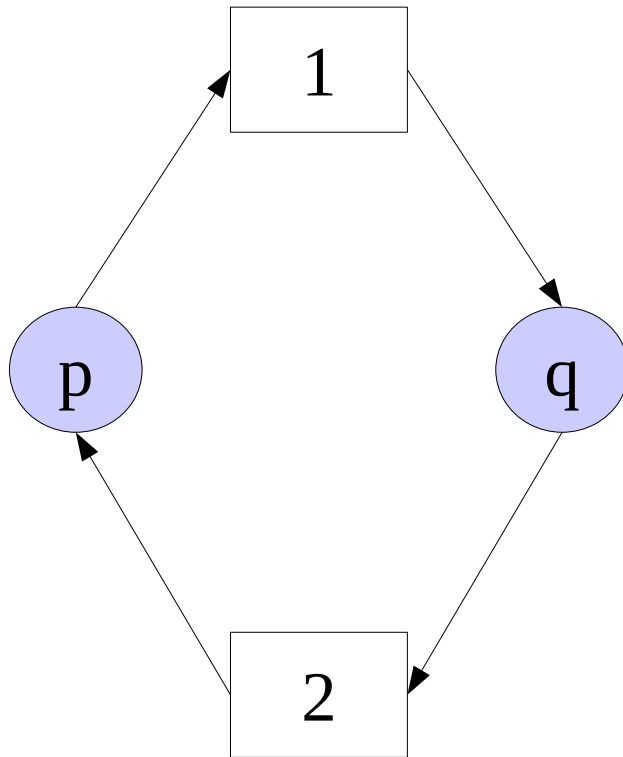
- ◆ Teorema

- ◆ se le risorse sono a richiesta bloccante, non condivisibili e non prerilasciabili
- ◆ *lo stato è di deadlock **se e solo se** il grafo di Holt contiene un ciclo*

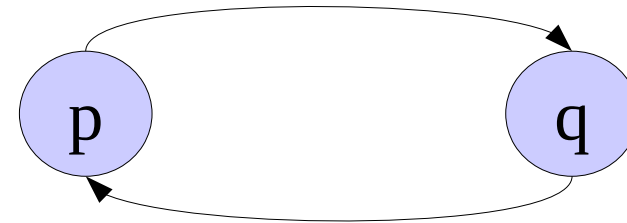
- ◆ Dimostrazione

- ◆ si utilizza una variante del grafo di Holt, detto *grafo Wait-For*
- ◆ si ottiene un grafo wait-for eliminando i nodi di tipo risorsa e collassando gli archi appropriati
- ◆ il grafo di Holt contiene un ciclo se e solo se il grafo Wait-for contiene un ciclo
- ◆ se il grafo Wait-for contiene un ciclo, abbiamo attesa circolare

Grafo Wait-for



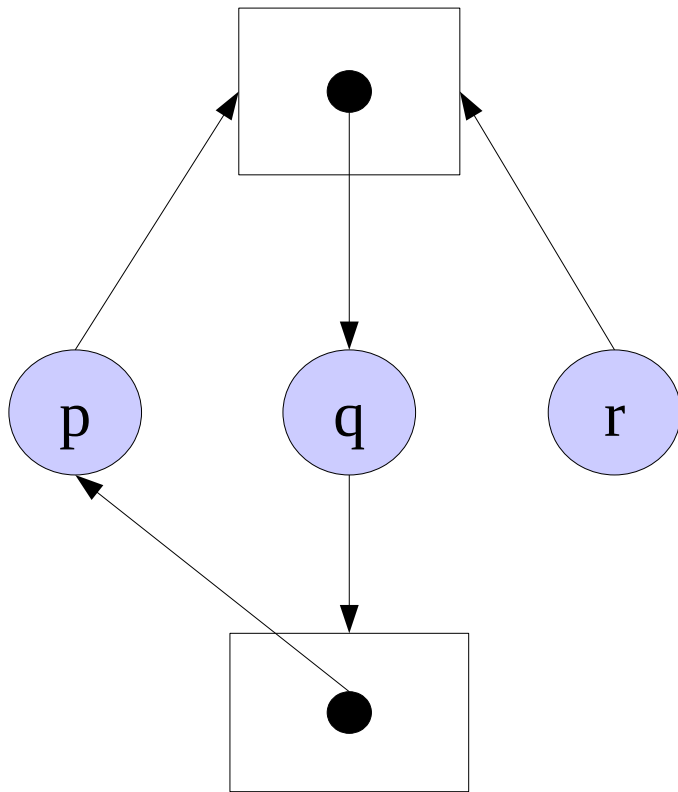
Grafo di Holt



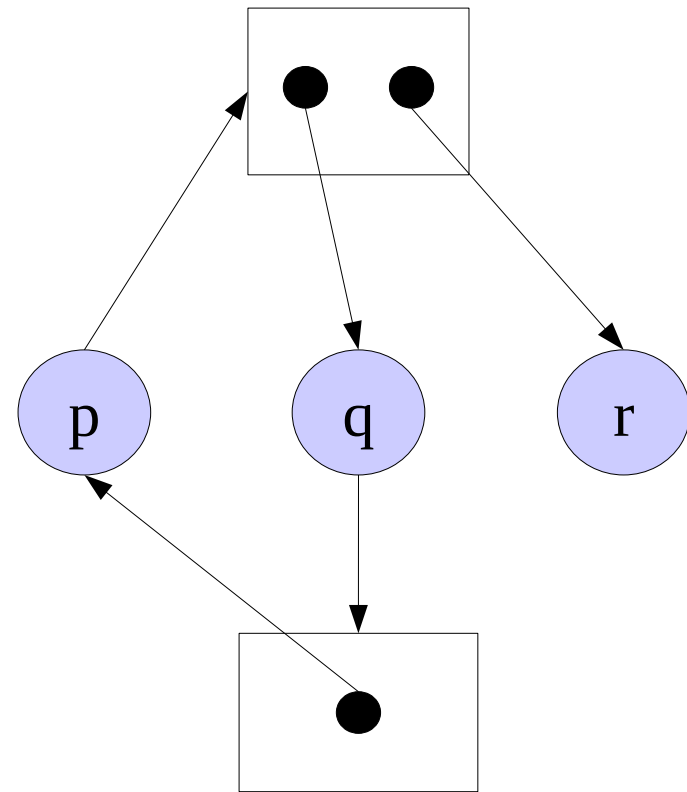
Grafo Wait-For

Caso 2 - Più risorse per classe

- La presenza di un ciclo nel caso di Holt non è condizione sufficiente per avere deadlock



Deadlock



No Deadlock

Riducibilità di un grafo di Holt

- ◆ **Definizione**

- ◆ un grafo di Holt si dice *riducibile* se esiste almeno un nodo processo con solo archi entranti

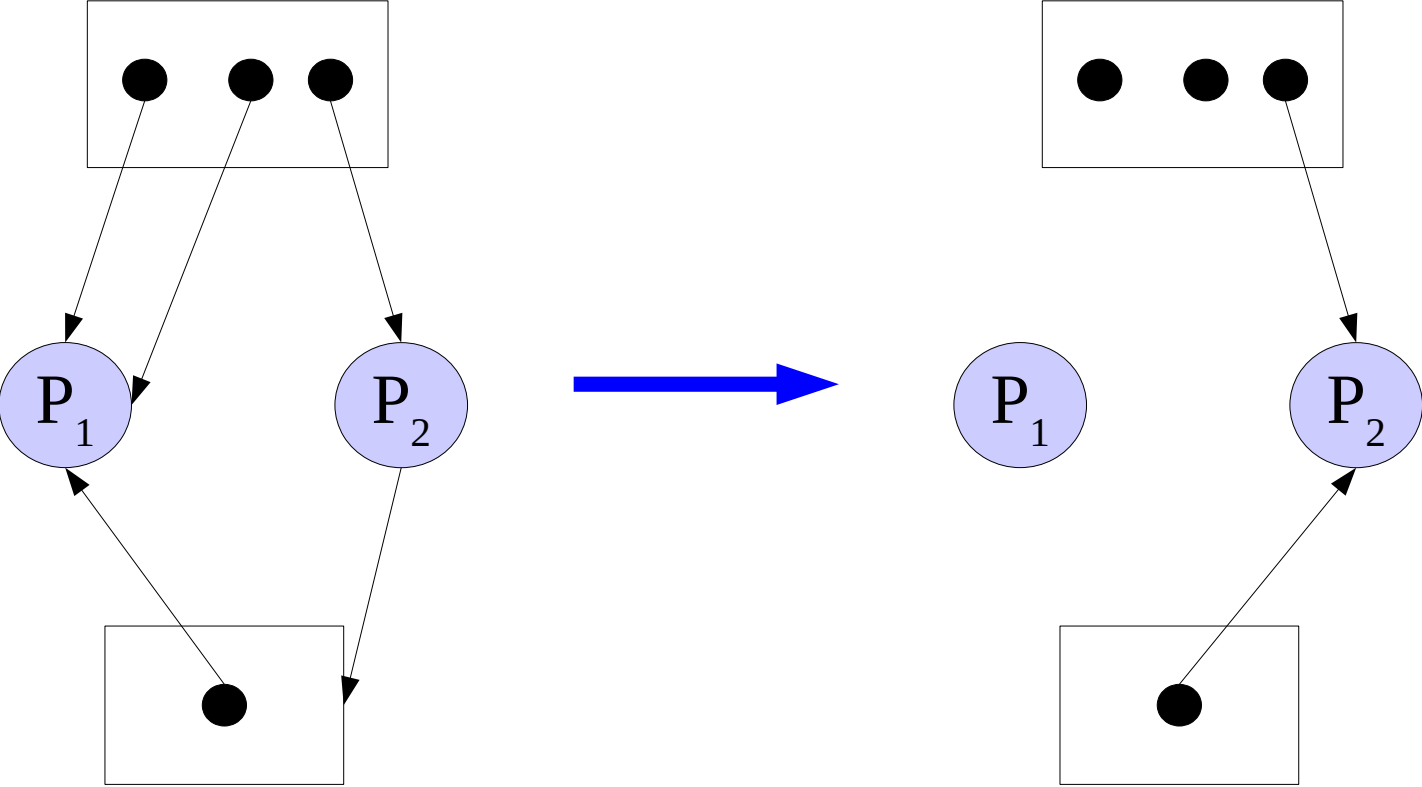
- ◆ **Riduzione**

- ◆ consiste nell'eliminare tutti gli archi di tale nodo e riassegnare le risorse ad altri processi

- ◆ **Qual è la logica?**

- ◆ eventualmente, un nodo che utilizza una risorsa prima o poi la rilascerà; a quel punto, la risorsa può essere riassegnata

Esempio di riduzione



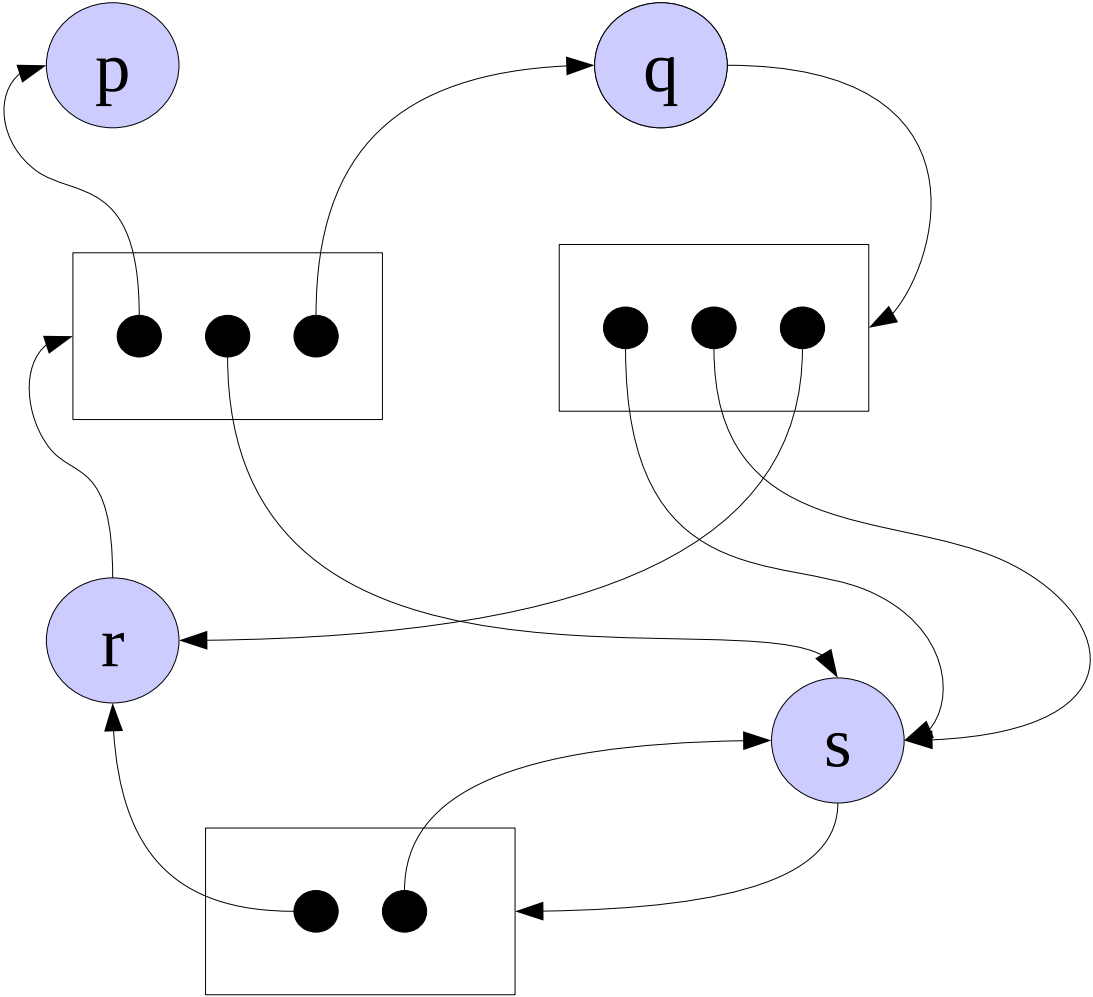
Riduzione per P_1

Deadlock detection con grafo di Holt

- ◆ Teorema

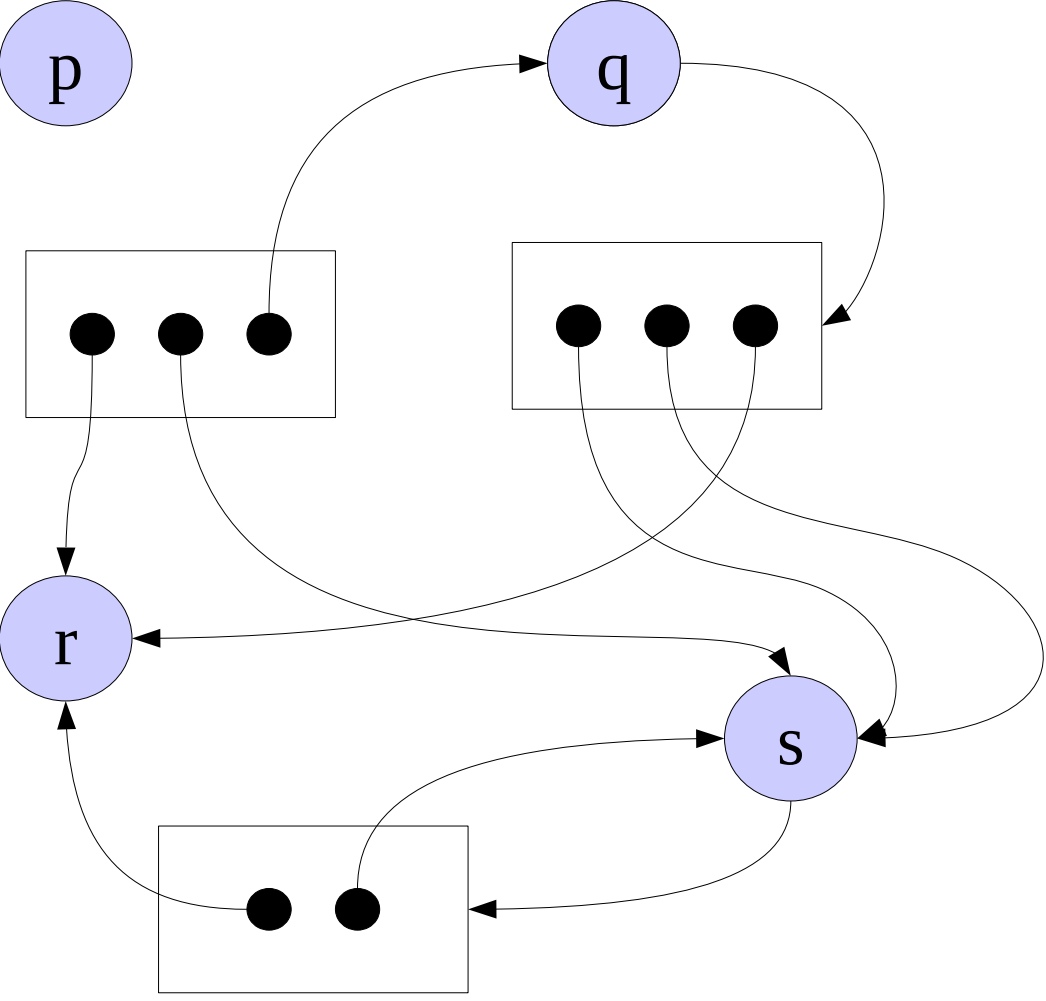
- ◆ se le risorse sono a richiesta bloccante, non condivisibili e non prerilasciabili
- ◆ lo stato non è di deadlock se e solo se il grafo di Holt è *completamente riducibile*, i.e. esiste una sequenza di passi di riduzione che elimina tutti gli archi del grafo

Esercizio 2 - 4/6/2002



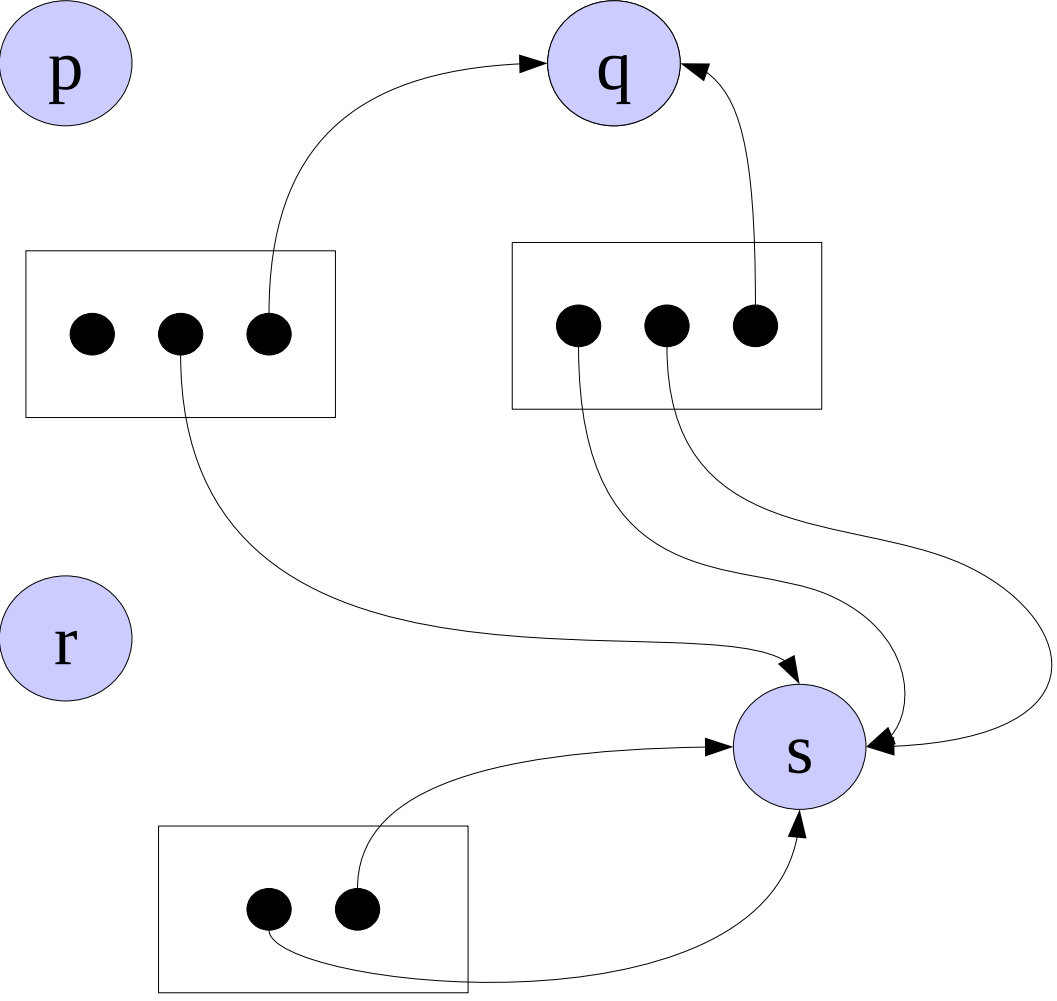
C'è deadlock?

Esercizio 2 - 4/6/2002



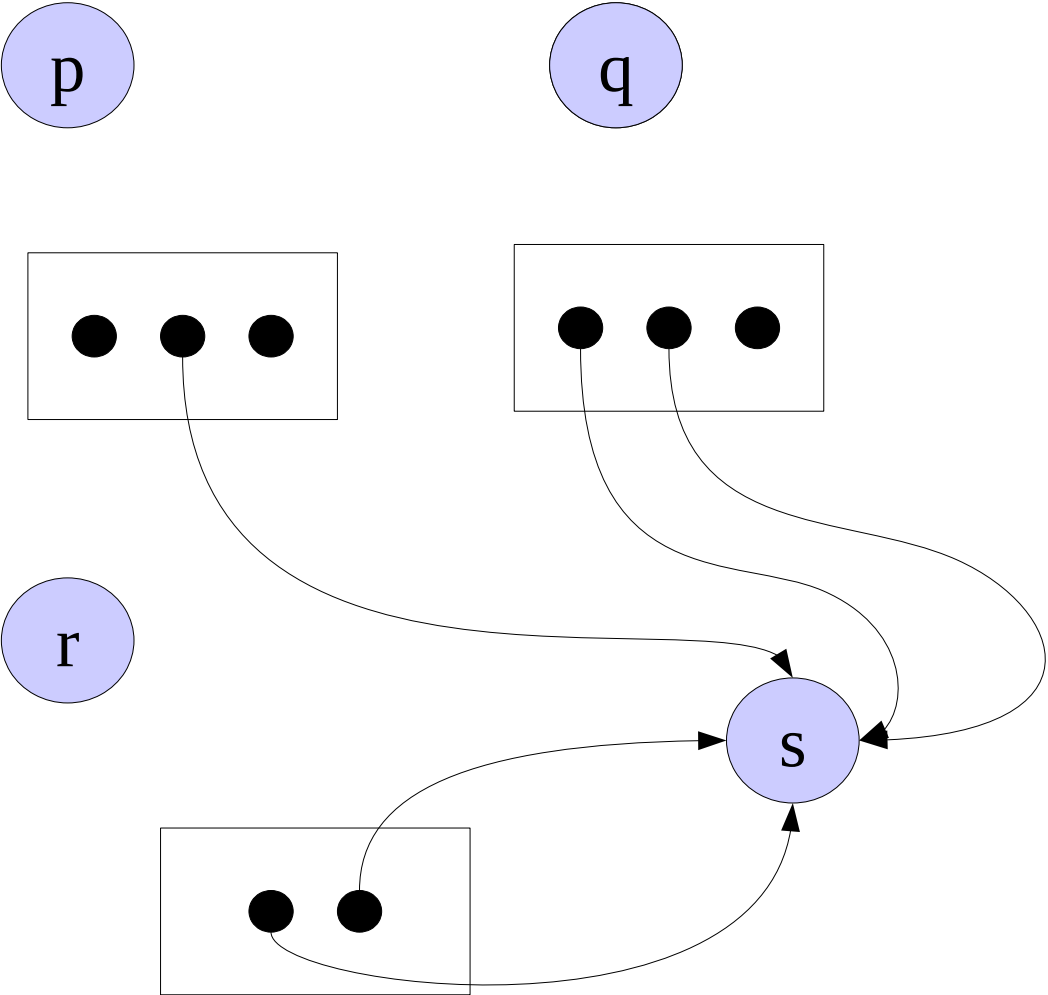
*Riduzione di p
Assegnamento
risorsa a r*

Esercizio 2 - 4/6/2002



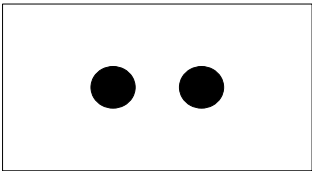
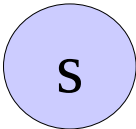
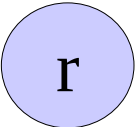
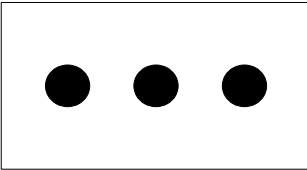
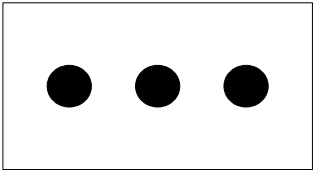
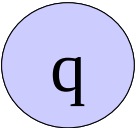
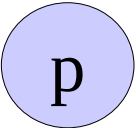
*Riduzione di r
Assegnamento
risorse a q,s*

Esercizio 2 - 4/6/2002



Riduzione di q

Esercizio 2 - 4/6/2002

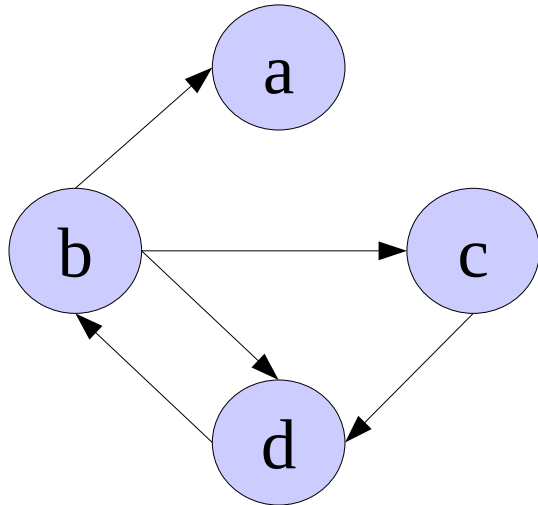


*Riduzione di s
Non c'è deadlock*

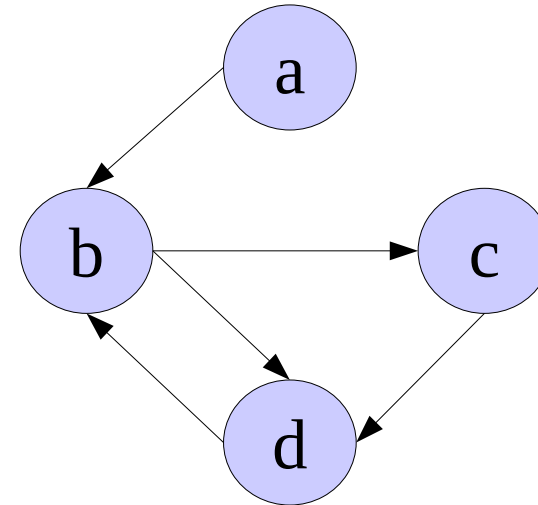
Deadlock detection - Knot

Definizione

- dato un nodo n , l'insieme dei nodi raggiungibili da n viene detto *insieme di raggiungibilità* di n (scritto $R(n)$)
- un knot del grafo G è il sottoinsieme (non banale) di nodi M tale che per ogni n in M , $R(n)=M$
- in altre parole: partendo da un qualunque nodo di M , si possono raggiungere tutti i nodi di M e nessun nodo all'infuori di esso.



{b,c,d} non è un knot



{b,c,d} è un knot

Deadlock detection - Knot

- ◆ Teorema

- ◆ dato un grafo di Holt con una sola richiesta sospesa per processo
- ◆ se le risorse sono a richiesta bloccante, non condivisibili e non prerilasciabili,
- ◆ allora il grafo rappresenta uno stato di deadlock se e solo se esiste un knot

Deadlock recovery

- ◆ Dopo aver rilevato un deadlock...
- ◆ ... bisogna risolvere la situazione
- ◆ La soluzione può essere
 - ◆ *manuale*
 - ◆ l'operatore viene informato e eseguirà alcune azioni che permettano al sistema di proseguire
 - ◆ *automatica*
 - ◆ il sistema operativo è dotato di meccanismi che permettono di risolvere in modo automatico la situazione, in base ad alcune politiche

Meccanismi per il deadlock recovery

- ♦ **Terminazione totale**
 - ♦ tutti i processi coinvolti vengono terminati
- ♦ **Terminazione parziale**
 - ♦ viene eliminato un processo alla volta, fino a quando il deadlock non scompare

Meccanismi per il deadlock recovery

- ♦ Checkpoint/rollback
 - ♦ lo stato dei processi viene periodicamente salvato su disco (*checkpoint*)
 - ♦ in caso di deadlock, si ripristina (*rollback*) uno o più processi ad uno stato precedente, fino a quando il deadlock non scompare

Considerazioni

- ♦ Terminare processi può essere costoso
 - ♦ questi processi possono essere stati eseguiti per molto tempo;
 - ♦ se terminati, dovranno ripartire da capo
- ♦ Terminare processi può lasciare le risorse in uno stato incoerente
 - ♦ se un processo viene terminato nel mezzo di una sezione critica

Deadlock prevention / avoidance

- ◆ **Prevention**

- ◆ per evitare il deadlock si elimina una delle quattro condizioni del deadlock
- ◆ il deadlock viene eliminato *strutturalmente*

- ◆ **Avoidance**

- ◆ prima di assegnare una risorsa ad un processo, si controlla se l'operazione può portare al pericolo di deadlock
- ◆ in quest'ultimo caso, l'operazione viene ritardata

Deadlock prevention

- ♦ Attaccare la condizione di "*Mutua esclusione*"
 - ♦ permettere la condivisione di risorse
 - ♦ e.g. spool di stampa, tutti i processi "pensano" di usare contemporaneamente la stampante
- ♦ Problemi dello spooling
 - ♦ in generale, lo spooling non sempre è applicabile
 - ♦ ad esempio, descrittori di processi
 - ♦ si sposta il problema verso altre risorse
 - ♦ il disco nel caso di spooling di stampa
 - ♦ cosa succede se due processi che vogliono stampare due documenti esauriscono lo spazio su disco?

Deadlock prevention

- ♦ Attaccare la condizione di "*Richiesta bloccante*"
 - ♦ *Allocazione totale*
 - ♦ è possibile richiedere che un processo richiede tutte le risorse all'inizio della computazione
 - ♦ Problemi
 - ♦ non sempre l'insieme di richieste è noto fin dall'inizio
 - ♦ si riduce il parallelismo
- ♦ Attaccare la condizione di "*Assenza di prerilascio*"
 - ♦ come detto prima:
 - ♦ non sempre è possibile
 - ♦ può richiedere interventi manuali

Deadlock prevention

- ♦ Attaccare la condizione di "*Attesa Circolare*"
 - ♦ *Allocazione gerarchica*
 - ♦ alle classi di risorse vengono associati valori di priorità
 - ♦ ogni processo in ogni istante può allocare solamente risorse di priorità superiore a quelle che già possiede
 - ♦ se un processo vuole allocare una risorsa a priorità inferiore, deve prima rilasciare tutte le risorse con priorità uguale o superiore a quella desiderata

Deadlock prevention

- ♦ **Allocazione gerarchica e allocazione totale: problemi**
 - ♦ prevengono il verificarsi di deadlock, ma sono altamente inefficienti
- ♦ **Nell'allocazione gerarchica:**
 - ♦ l'indisponibilità di una risorsa ad alta priorità ritarda processi che già detengono risorse ad alta priorità
- ♦ **Nell'allocazione totale:**
 - ♦ anche se un processo ha necessità di risorse per poco tempo deve allocarla per tutta la propria esistenza

Deadlock Avoidance

- ◆ L'algoritmo del banchiere

- ◆ un algoritmo per evitare lo stallo sviluppato da Dijkstra (1965)
- ◆ il nome deriva dal metodo utilizzato da un ipotetico banchiere di provincia che gestisce un gruppo di clienti a cui ha concesso del credito; non tutti i clienti avranno bisogno dello stesso credito simultaneamente

Algoritmo del banchiere

♦ Descrizione

- ♦ un banchiere desidera condividere un capitale (fisso) con un numero (prefissato) di clienti
 - ♦ per Dijkstra l'"unità di misura" erano fiorini olandesi
- ♦ ogni cliente specifica in anticipo la sua necessità massima di denaro
 - ♦ che ovviamente non deve superare il capitale del banchiere
- ♦ i clienti fanno due tipi di transazioni
 - ♦ *richieste di prestito*
 - ♦ *restituzioni*

Algoritmo del banchiere

- ◆ **Descrizione**

- ◆ il denaro prestato ad ogni cliente non può mai eccedere la necessità massima specificata a priori
- ◆ ogni cliente può fare richieste multiple, fino al massimo importo specificato
- ◆ una volta che le richieste sono state accolte e il denaro è stato ottenuto deve garantire la restituzione in un tempo finito

Algoritmo del banchiere

- ♦ **Metodo di funzionamento**
 - ♦ il banchiere deve essere in ogni istante in grado di soddisfare tutte le richieste dei clienti, o concedendo immediatamente il prestito oppure comunque facendo loro aspettare la disponibilità del denaro in un tempo finito

Algoritmo del banchiere

- N : numero dei clienti
- IC : capitale iniziale
- c_i : **limite di credito del cliente i ($c_i \leq IC$)**
- p_i : denaro prestato al cliente i ($p_i \leq c_i$)
- $n_i = c_i - p_i$ credito residuo del cliente i
- $COH = IC - \sum_{i=1..N} p_i$
saldo di cassa

Algoritmo del banchiere

- ◆ **Definizione: *Stato SAFE***

- ◆ sia s una permutazione dei valori $1...N$
 - ◆ esempio, con $N=4$: $s = 1, 3, 4, 2$
 - ◆ indichiamo con $s(i)$ l' i -esima posizione della sequenza

- ◆ si calcoli il vettore *avail* come segue

$$avail[1] = COH$$

$$avail[j+1] = avail[j] + p_{s(j)} \text{ con } j=1...N-1$$

- ◆ uno stato del sistema si dice safe se vale la seguente condizione:

$$n_{s(j)} \leq avail[j], \text{ con } j=1...N$$

Algoritmo del banchiere

- ◆ **Lo stato UNSAFE**

- ◆ è condizione necessaria *ma non sufficiente* per avere deadlock
- ◆ i.e., un sistema in uno stato UNSAFE può evolvere senza procurare alcun deadlock

Algoritmo del banchiere - Situazione iniziale

Capitale Iniziale	IC	150
-------------------	----	-----

Saldo di cassa	COH	150
----------------	-----	-----

Cliente	MAX	Prestito Attuale	Credito residuo
i	c_i	p_i	n_i
1	100	0	100
2	20	0	20
3	30	0	30
4	50	0	50
5	70	0	70

Algoritmo del banchiere - Esempio stato SAFE

Capitale Iniziale	IC	150
-------------------	----	-----

Saldo di cassa	COH	0
----------------	-----	---

la sequenza 3,2,1,4,5 consente il soddisfacimento di tutte le richieste

Cliente	MAX	Prestito Attuale	Credito residuo
i	c_i	p_i	n_i
1	100	70	30
2	20	10	10
3	30	30	0
4	50	10	40
5	70	30	40

Algoritmo del banchiere

- ♦ **Regola pratica (per il banchiere a singola valuta)**
 - ♦ lo stato SAFE può essere verificato usando la sequenza che ordina in modo crescente i valori di n_i
 - ♦ infatti, se esiste una sequenza di verificare la safety di uno stato, sicuramente anche la sequenza che ordina i valori di n_i consente di fare altrettanto

Algoritmo del banchiere - Stato SAFE

Capitale Iniziale	IC	150
-------------------	----	-----

Cliente	MAX	Prestito Attuale	Credito residuo	
i	c_i	p_i	n_i	avail[i]

Saldo di cassa	COH	0
----------------	-----	---

la sequenza 3,2,1,4,5 consente il soddisfacimento di tutte le richieste

3	30	30	0	0
2	20	10	10	30
1	100	70	30	40
4	50	10	40	110
5	70	30	40	120

Algoritmo del banchiere - Esempio Stato UNSAFE

Capitale Iniziale	IC	150
-------------------	----	-----

Saldo di cassa	COH	10
----------------	-----	----

Cliente	MAX	Prestito Attuale	Credito residuo
i	c_i	p_i	n_i
1	100	65	35
2	20	10	10
3	30	5	25
4	50	15	35
5	70	35	35

Algoritmo del banchiere - Stato UNSAFE

Capitale Iniziale	IC	150
-------------------	----	-----

Cliente	MAX	Prestito Attuale	Credito residuo	
i	c_i	p_i	n_i	avail[i]

Saldo di cassa	COH	10
----------------	-----	----

se esistesse una sequenza, questa sarebbe 2,3,1,5,4

in corsivo sono indicati i casi nei quali la condizione di safety fallisce

2	20	10	10	10
3	30	5	<i>25</i>	<i>20</i>
1	100	65	<i>35</i>	<i>25</i>
5	70	35	35	100
4	50	15	35	135

Algoritmo del banchiere - Stato UNSAFE

Capitale Iniziale	IC	150
-------------------	----	-----

Cliente	MAX	Prestito Attuale	Credito residuo	
i	c_i	p_i	n_i	avail[i]
2	20	10	10	45
3	30	5	25	55
1	100	75	35	60
4	50	15	35	135
5	70	0	70	150

Saldo di cassa	COH	0
----------------	-----	---

UNSAFE non implica deadlock

se il cliente 5 restituisce il suo prestito di 35 euro la situazione ritorna SAFE

2	20	10	10	45
3	30	5	25	55
1	100	75	35	60
4	50	15	35	135
5	70	0	70	150

Algoritmo del banchiere

- ♦ La similitudine fra banchieri e sistemi operativi ora è chiara...
 - ♦ il denaro sono le risorse
 - ♦ il sistema le deve allocare ai processi senza che si possa verificare deadlock
 - ♦ le definizioni viste fino a questo punto riguardano il caso teorico elementare di un sistema avente un'unica classe di risorse
- ♦ **Algoritmo del banchiere multivaluta**
 - ♦ è l'estensione del problema del banchiere
 - ♦ si ipotizza che il banchiere debba fare prestiti usando valute diverse (euro, dollari, yen, etc.)
 - ♦ le diverse valute rappresentano diverse classi di risorse

Algoritmo del banchiere multivaluta

- N : numero dei clienti
- \overline{IC} : capitale iniziale (*vettore, un elemento per ogni valuta*)
- \overline{c}_i : **limite di credito del cliente i** ($\overline{c}_i \leq \overline{IC}$)
- \overline{p}_i : denaro prestato al cliente i ($\overline{p}_i \leq \overline{c}_i$)
- $\overline{n}_i = \overline{c}_i - \overline{p}_i$ credito residuo del cliente i
- $\overline{COH} = \overline{IC} - \sum_{i=1..N} \overline{p}_i$
saldo di cassa in valuta k

Algoritmo del banchiere multivaluta

- ◆ **Definizione: *Stato SAFE***

- ◆ sia s una permutazione dei valori $1...N$
 - ◆ esempio, con $N=4$: $s = \langle 1, 3, 4, 2 \rangle$
 - ◆ indichiamo con $s(i)$ l' i -esima posizione della sequenza

- ◆ si calcoli il vettore $avail_k$ come segue

$$\overline{avail[1]} = \overline{COH}$$

$$\overline{avail[j+1]} = \overline{avail[j]} + \overline{p_{s(j)}}$$
 con $j=1...N-1$

- ◆ uno stato del sistema si dice safe se vale la seguente condizione:

$$\overline{n_{s(j)}} \leq \overline{avail[j]}, \text{ con } j=1...N$$

Algoritmo del banchiere multivaluta

♦ Problema

- ♦ la regola di ordinare i processi secondo i valori di n_i non è applicabile
- ♦ l'ordine può essere in generale diverso fra le diverse valute gestite dal banchiere

♦ Soluzione

- ♦ si può creare la sequenza procedendo passo passo aggiungendo un processo a caso fra quelli completamente soddisfacibili
- ♦ ovvero, al passo j si sceglie quelli per cui

$$n_{s(j)} \leq \text{avail}[j]$$

Teorema dell'algorithmo del banchiere

- ◆ Teorema

- ◆ se durante la costruzione della sequenza s si giunge ad un punto in cui nessun processo risulta soddisfacibile, lo stato non è SAFE, i.e. non esiste alcuna sequenza che consenta di soddisfare tutti i processi

- ◆ Dimostrazione

- ◆ per assurdo
- ◆ supponiamo che lo stato sia SAFE, ovvero che esista la sequenza che consente di soddisfare tutti i processi
- ◆ sia C la sequenza interrotta e C' la sequenza che porta allo stato SAFE

Teorema dell'algorithmo del banchiere

Siano C e C' le sequenze di processi come in figura

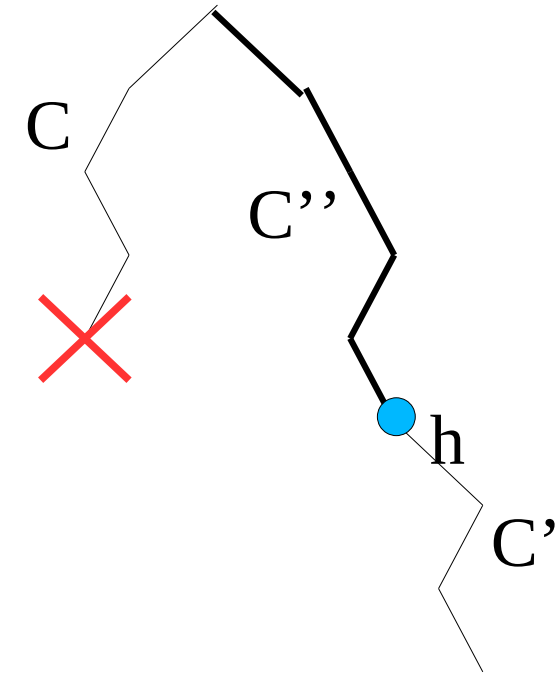
Sia $H = \{ p \in \text{processi} \mid p \notin C \}$

sia h il primo elemento di H che compare in C'

tutti gli elementi di C' prima di h compaiono in C . Chiamiamo C'' il segmento iniziale di C' fino al punto precedente l'applicazione di h

le risorse disponibili all'applicazione di h in C' sono $\text{avail}(C'') = COH + \sum_{j \in C''} p_j$; h è applicabile quindi $n \leq \text{avail}(C'')$

ma $\text{avail}(C) = COH + \sum_{j \in C} p_j$, quindi se $\text{avail}(C) \leq \text{avail}(C'')$ allora h è applicabile alla fine di C contro l'ipotesi che C non fosse ulteriormente estendibile



Algoritmo dello struzzo

- ♦ **Algoritmo**

- ♦ nascondere la testa sotto la sabbia, ovvero fare finta che i deadlock non si possano mai verificare

- ♦ **Motivazioni**

- ♦ dal punto di vista ingegneristico, il costo di evitare i deadlock può essere troppo elevato

- ♦ **Esempi**

- ♦ è la soluzione più adottata nei sistemi Unix
- ♦ è usata anche nelle JVM