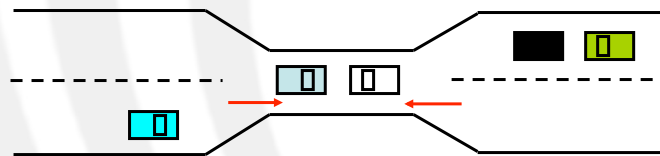


Deadlock

Definizione

- Sequenza di utilizzo dei processi che utilizzano risorse
 - Richiesta
 - Se non può essere immediatamente soddisfatta, il processo deve attendere
 - Utilizzo
 - Rilascio
- DEADLOCK
Un insieme di processi è in **deadlock** quando ogni processo è in attesa di un evento che può essere causato da un processo dello stesso insieme

Esempio di deadlock

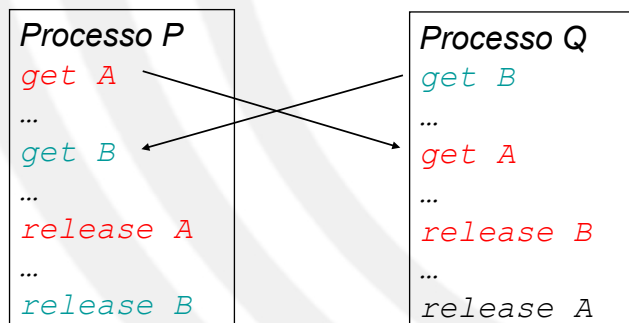


- Traffico solo in una direzione
- Ponte = risorsa condivisa
 - Se c'è deadlock, si può risolvere mandando indietro una macchina (preemption + rollback)
 - Possibile che più macchine debbano essere spostate
 - Starvation possibile

3

Esempio di deadlock

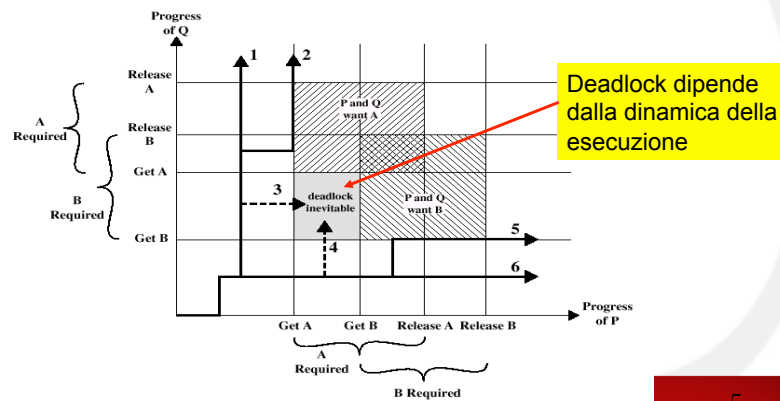
- P e Q in competizione per due risorse A e B
 - P e Q devono utilizzare A e B in modo esclusivo



4

Esempio di deadlock

- Traiettoria delle risorse
 - 6 possibili sequenze di richiesta/rilascio



5

Condizioni necessarie

1. **Mutua esclusione**
 - Almeno una risorsa deve essere non condivisibile
 2. **Hold and Wait**
 - Deve esistere un processo che detiene una risorsa e che attende di acquisirne un'altra, detenuta da un altro
 3. **No preemption**
 - Le risorse non possono essere rilasciate se non "volontariamente" dal processo che le usa
 4. **Attesa circolare**
 - Deve esistere un insieme di processi che attendono ciclicamente il liberarsi di una risorsa
- Devono essere vere contemporaneamente
 - Se una non si verifica, non si ha deadlock

6

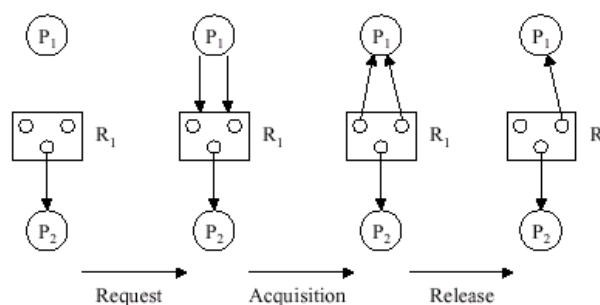
Modello astratto (RAG)

- RAG = *Resource Allocation Graph*: $G(V,E)$
 - V = nodi
 - Cerchi = processi (CPU, I/O, memoria)
 - Rettangoli = risorse
 - » Nei rettangoli vi sono tanti “•” quante sono le istanze della corrispondente risorsa
 - E = archi
 - Da processi a risorse: processo richiede risorsa
 - Da risorse a processi: processo detiene risorsa

7

RAG - esempio

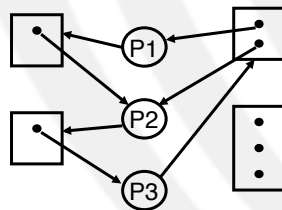
- $V = \{\{P_1, P_2\}, \{R_1\}\}$
- $E_{\text{iniziale}} = \{(R_1, P_2)\}$ $E_{\text{finale}} = \{(R_1, P_1), (R_1, P_2)\}$



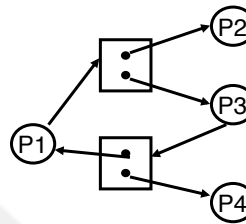
8

RAG e deadlock

- Se il RAG non contiene cicli, non ci sono deadlock
- Se contiene cicli:
 - se si ha una sola istanza per risorsa allora si deadlock
 - se ci sono più istanze, dipende dallo schema di allocazione



DEADLOCK



NO DEADLOCK

9

Gestione dei deadlock - alternative

- Prevenzione statica
 - Evitare che si possa verificare una delle quattro condizioni
- Prevenzione dinamica (*avoidance*) basata su allocazione delle risorse
 - Mai usata poiché richiede conoscenza troppo approfondita delle richieste di risorse
- Rivelazione (*detection*) e ripristino (*recovery*)
 - Permettere che si verifichino deadlock
 - Prevedere metodi per riportare il sistema al funzionamento normale
- Algoritmo dello struzzo
 - Non fare nulla, i deadlock sono rari e gestirli costa troppo

10

Prevenzione statica

- Obiettivo:
 - Impedire che si verifichi una delle 4 condizioni che devono essere vere contemporaneamente perché si verifichi un deadlock

Prevenzione statica

- **Mutua esclusione**
 - E' irrinunciabile per certi tipi di risorsa
 - Non possiamo toglierla

Prevenzione statica

- Hold and wait
 - Soluzioni
 - Un processo alloca all'inizio tutte le risorse che deve utilizzare
 - Un processo può ottenere una risorsa solo se non ne ha altre
 - Problemi
 - Basso utilizzo delle risorse
 - Possibilità di *starvation* (richiesta di molte risorse molto "popolari")
 - Conoscenza del numero di risorse richieste?

Prevenzione statica

- No preemption
 - Soluzioni
 - Un processo che richiede una risorsa non disponibile deve cedere tutte le altre risorse che detiene
 - In alternativa, può cedere risorse che detiene su richiesta di un altro processo
 - Problemi
 - Fattibile solo per risorse il cui stato può essere facilmente "ristabilito" (CPU, registri, semafori, file)
 - Non per stampanti, nastri, ...

Prevenzione statica

- Attesa circolare
 - Soluzione
 - Assegnare una priorità (ordinamento globale) ad ogni risorsa
 - $F: R \rightarrow N$
 - $F(R_0) < F(R_1) < \dots < F(R_n)$
 - Un processo può richiedere risorse solo in ordine crescente di priorità
 - Quindi l'attesa circolare diventa impossibile poiché:
 - Se $P_0 \rightarrow R_0 \rightarrow P_1 \rightarrow \dots \rightarrow R_{n-1} \rightarrow P_n \rightarrow R_n \rightarrow P_0$
 - Allora $F(R_0) < F(R_1) < \dots < F(R_n) < F(R_0)$ Impossibile!
 - Priorità deve seguire il normale ordine di richiesta (Es.: disco prima di stampante)

Prevenzione dinamica

- Le tecniche di prevenzione statica possono portare a un basso utilizzo delle risorse perché mettono vincoli sul modo in cui i processi possono accedere alle risorse

Prevenzione dinamica

- Obiettivo:
 - Prevenzione in base alle richieste
 - Analisi dinamica del grafo delle risorse per evitare situazioni cicliche
- Requisito:
 - Conoscenza del caso peggiore (bisogna conoscere il massimo numero di istanze di una risorsa richieste per processo)

17

Prevenzione dinamica – stato safe

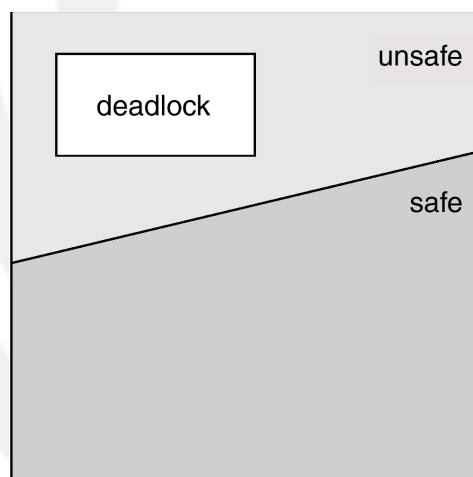
- Stato di una risorsa calcolato come:
 - numero di istanze allocate
 - numero di istanze disponibili
- Il sistema si trova in uno stato sicuro (*safe*)
 - se esiste una *sequenza safe*, ovvero
 - se usando le risorse disponibili, può allocare risorse ad ogni processo, in qualche ordine, in modo che ciascun di essi possa terminare la sua esecuzione

18

Sequenza safe

- Una sequenza di processi (P_1, \dots, P_N) è *safe* se, per ogni P_i , le risorse che P_i può richiedere possono essere esaudite usando:
 - le risorse disponibili
 - quelle detenute da $P_j, j < i$ (attendendo che P_j termini)
- Se non esiste tale sequenza, siamo in uno stato *unsafe*
 - Non tutti gli stati *unsafe* sono stati di deadlock, ma da stato *unsafe* posso andare in deadlock

Spazio degli stati



Stato safe e unsafe – Esempio

- Supponiamo di avere:
 - 3 processi: P₀, P₁, P₂
 - 12 istanze di 1 risorsa
 - 3 istanze libere
- Siamo in uno stato safe?
 - Sì, esiste sequenza safe: < P₁, P₀, P₂ >
 - P₁ prende e rilascia, poi P₀ infine P₂
- Se ora P₂ richiede 1 risorsa e gli viene assegnata, siamo ancora in uno stato safe?
 - No, si entra in uno stato unsafe!
 - Rimangono solo 2 risorse
 - P₁ può eseguire, ma quando termina sono disponibili solo 4 istanze
 - P₀ ne chiede 5, P₂ ne chiede 6!
 - Deadlock P₂ ↔ P₀

	Richieste	Possedute
P ₀	10	5
P ₁	4	2
P ₂	9	2

21

Prevenzione dinamica

- Idea:
 - Utilizzare algoritmi che lasciano il sistema sempre in uno stato safe
 - All'inizio il sistema è in uno stato safe
 - Ogni volta che P richiede R, R viene assegnata a P sse si rimane in uno stato safe
- Svantaggio:
 - L'utilizzo delle risorse è minore rispetto al caso in cui non uso tecniche di prevenzione dinamica

22

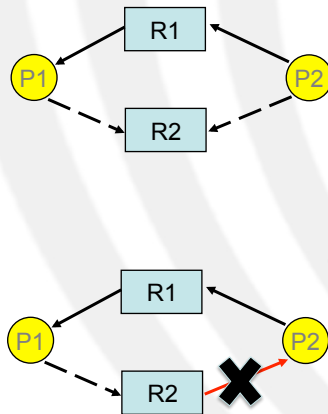
Prevenzione dinamica

- Due alternative:
 - Algoritmo con RAG
 - Funziona solo se c'è una sola istanza per risorsa
 - Algoritmo del banchiere
 - Funziona qualunque sia il numero di istanze

Algoritmo con RAG

- Funziona solo se ho un'istanza per ogni risorsa
- Il RAG viene aumentato con archi di reclamo:
 - $P_i \rightarrow R_j$ se P_i può richiedere R_j in futuro
 - Indicati con freccia tratteggiata
- All'inizio, ogni processo deve dire quali risorse vorrebbe usare durante la sua esecuzione
- Una richiesta viene soddisfatta sse l'allocazione della risorsa non crea un ciclo nel RAG
- Serve un algoritmo per la rilevazione cicli
 - Complessità $O(n^2)$ (dove $n = n^\circ$ di processi)

Algoritmo con RAG – esempio



- Siamo in uno stato sicuro

- Se, ad un certo punto, P2 richiede R2, la richiesta non viene accettata perché lo stato diventerebbe unsafe

25

Algoritmo del banchiere

- Meno efficiente dell'algoritmo con RAG...
- ... ma funziona con più istanze delle risorse
- Idea:
 - Il banchiere non deve mai distribuire tutto il denaro che ha in cassa perché altrimenti non potrebbe più soddisfare successivi clienti

26

Algoritmo del banchiere

- Ogni processo dichiara la sua massima richiesta
- Ogni volta che un processo richiede una risorsa, si determina se soddisfarla ci lascia in uno stato safe
- Costituito da:
 - Algoritmo di allocazione
 - Algoritmo di verifica dello stato
- Strutture dati per n processi e m risorse:

```
int available[m]; /* n° di istanze di Ri disponibili */
int max[n][m]; /* matrice delle richieste di risorse */
int alloc[n][m]; /* matrice allocazione corrente */
int need[n][m]; /* matrice bisogno rimanente ovvero
                need[i][j] = max[i][j] - alloc[i][j]*/
```

27

Algoritmo di allocazione (P_i)

```
void request(int req_vec[]) {
    if (req_vec[] > need[i][[]])
        error(); /* superato il massimo preventivato */
    if (req_vec[] > available[])
        wait(); /* attendo che si liberino risorse */
    available[] = available[] - req_vec[];
    alloc[i][[]] = alloc[i][[]] + req_vec[];
    need[i][[]] = need[i][[]] - req_vec[];
    if (!state_safe()) { /* se non è safe, ripristino il vecchio stato */
        available[] = available[] + req_vec[];
        alloc[i][[]] = alloc[i][[]] - req_vec[];
        need[i][[]] = need[i][[]] + req_vec[];
        wait();
    }
}
```

← Richieste del processo P_i

← “simulo” l’assegnazione

← rollback

28

Algoritmo di verifica dello stato

```

int state_safe() {
    int work[m] = available[];
    boolean finish[n] = (FALSE, ..., FALSE);
    int i;
    while (finish != (TRUE, ..., TRUE)) {
        /* cerca Pi che NON abbia terminato e che possa
           completare con le risorse disponibili in work */
        for (i=0; (i<n)&&(finish[i]|| (need[i][>work[]]; i++);
        if (i==n)
            return FALSE; /* non c'è → unsafe */
        else {
            work[] = work[] + alloc[i][];
            finish[i] = TRUE;
        }
    } return TRUE;
}

```

Ho già sottratto le richieste di P_i!

Sono arrivato in fondo, senza trovare finish[i]=FALSE e need[i][] <= work[]

L'ordine non ha importanza. Se + processi possono eseguire, ne posso scegliere uno a caso, gli altri eseguiranno dopo, visto che le risorse possono solo aumentare

Algoritmo del banchiere - esempio

- 5 processi: P₀, P₁, P₂, P₃, P₄
- 3 risorse:
 - A (10 istanze) B (5 istanze) C (7 istanze)
- Fotografia al tempo T₀:

	<u>Allocation</u>			<u>Max</u>			<u>Available</u>			<u>Need</u>		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
P ₀	0	1	0	7	5	3	3	3	2	7	4	3
P ₁	2	0	0	3	2	2				1	2	2
P ₂	3	0	2	9	0	2				6	0	0
P ₃	2	1	1	2	2	2				0	1	1
P ₄	0	0	2	4	3	3				4	3	1

Algoritmo del banchiere - esempio

- Al tempo T_0 il sistema è in stato safe:
 - $\langle P_1, P_3, P_4, P_2, P_0 \rangle$ è una sequenza safe
- Al tempo T_1 , P_1 richiede (1,0,2)
 - Request₁ ≤ Available? (1,0,2) ≤ (3,3,2) ⇒ OK
 - Nuova situazione:

	<u>Allocation</u>	<u>Max</u>	<u>Available</u>	<u>Need</u>
	A B C	A B C	A B C	A B C
P_0	0 1 0	7 5 3	2 3 0	7 4 3
P_1	3 0 2	3 2 2		0 2 0
P_2	3 0 2	9 0 2		6 0 0
P_3	2 1 1	2 2 2		0 1 1
P_4	0 0 2	4 3 3		4 3 1

31

Algoritmo del banchiere - esempio

- Siamo ancora in uno stato safe? Verifichiamolo:
 - work = (2,3,0)
 - i=0 finish=FALSE, need[0] = (7,4,3) > work
 - i=1 finish=FALSE, need[1] = (0,2,0) < work
 - work = work + (3,0,2) = (5,3,2)
 - finish[1] = TRUE
 - i=2 finish=FALSE, need[2]=(6,0,0) > work
 - i=3 finish=FALSE, need[3]=(0,1,1) < work
 - work = work + (2,1,1) = (7,4,3)
 - finish[3] = TRUE
 - ...
 - Sequenza safe finale: $\langle P_1, P_3, P_4, P_0, P_2 \rangle$

32

Algoritmo del banchiere - esempio

- Al tempo T_2 , P_0 richiede (0,2,0)
 - Request₀ ≤ Available? (0,2,0) ≤ (2,3,0) ⇒ OK
 - Nuova situazione

	<u>Allocation</u>	<u>Max</u>	<u>Available</u>	<u>Need</u>
	A B C	A B C	A B C	A B C
P_0	0 3 0	7 5 3	2 1 0	7 2 3
P_1	3 0 2	3 2 2		0 2 0
P_2	3 0 2	9 0 2		6 0 0
P_3	2 1 1	2 2 2		0 1 1
P_4	0 0 2	4 3 3		4 3 1

33

Algoritmo del banchiere - esempio

- Siamo ancora in uno stato safe? Verifichiamolo:
 - work = (2,1,0)
 - i=0 finish=FALSE, need[0]=(7,2,3) > work
 - i=1 finish=FALSE, need[1]=(0,2,0) > work
 - i=2 finish=FALSE, need[2]=(6,0,0) > work
 - i=3 finish=FALSE, need[3]=(0,3,1) > work
 - i=4 finish=FALSE, need[4]=(4,3,1) > work
- Stato unsafe!

34

Rilevazione deadlock & ripristino

- Prevenzione statica e dinamica sono conservativi e riducono eccessivamente l'utilizzo delle risorse
- Due approcci alternativi:
 - Rilevazione e ripristino tramite RAG
 - Algoritmo di rilevazione

Rilevazione e ripristino con RAG

- Funziona solo con una risorsa per tipo
- Analizzare periodicamente il RAG, verificare se esistono deadlock (*detection*) ed iniziare il ripristino (*recovery*)
 - Vantaggi
 - Conoscenza anticipata delle richieste non necessaria
 - Utilizzo migliore
 - Svantaggio
 - Costo del recovery

Algoritmo di rilevazione

- Basato sull'esplorazione di ogni possibile sequenza di allocazione per i processi che non hanno ancora terminato
- Se la sequenza va a buon fine (*safe*), non c'è deadlock
- Strutture dati simili ad algoritmo del banchiere:

```
int available[m]; /* n° di istanze di Ri disponibili */
int alloc[n][m]; /* matrice allocazione corrente */
int req_vec[n][m]; /* matrice delle richieste */
```

37

$O(m \cdot n^2)$

Algoritmo di detection

```
int work[m] = available[m];
bool finish[] = (FALSE, ..., FALSE), found = TRUE;
while (found) {
    found = FALSE;
    for (i=0; i<n && !found; i++) {
        /* cerca un Pi con richiesta soddisfacibile */
        if (!finish[i] && req_vec[i][] <= work[]) {
            /* assume ottimisticamente che Pi esegua fino al termine
            e che quindi restituisca le risorse */
            work[] = work[] + alloc[i][];
            finish[i]=TRUE;
            found=TRUE;
        }
    }
} /* se finish[i]=FALSE per un qualsiasi i, Pi è in deadlock */
```

Se non è così il possibile deadlock verrà evidenziato alla prossima esecuzione dell'algoritmo

38

Rilevazione - esempio

- 5 processi: P_0, P_1, P_2, P_3, P_4
- 3 tipi di risorsa:
 - A (7 istanze), B (2 istanze), C (6 istanze)
- Fotografia al tempo T_0 :

	<u>Allocation</u>			<u>Request</u>			<u>Available</u>		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
P_0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P_1	2	0	0	2	0	2			
P_2	3	0	3	0	0	0			
P_3	2	1	1	1	0	0			
P_4	0	0	2	0	0	2			

39

Rilevazione - esempio

- Siamo in una situazione di deadlock? Verifichiamolo:
 - $work = (0,0,0)$
 - $i=0$ $req[0]=(0,0,0) \leq work$ OK
 $work = work + (0,1,0) = (0,1,0)$ $finish[0] = true$ $P_0 \checkmark$
 - $i=1$ $req[1]=(2,0,2) \leq work$ NO
 - $i=2$ $req[2]=(0,0,0) \leq work$ OK
 $work = work + (3,0,3) = (3,1,3)$ $finish[2] = true$ $P_2 \checkmark$
 - $i=3$ $req[3]=(1,0,0) \leq work$ OK
 $work = work + (2,1,1) = (5,2,4)$ $finish[3] = true$ $P_3 \checkmark$
 - ...
- La sequenza $\langle P_0, P_2, P_3, P_1, P_4 \rangle$ dà $finish[i] = true$ per ogni i

40

Rilevazione - esempio

- Supponiamo invece che P_2 richieda un'ulteriore istanza della risorsa C

	<u>Allocation</u>	<u>Request</u>	<u>Available</u>
	A B C	A B C	A B C
P_0	0 1 0	0 0 0	0 0 0
P_1	2 0 0	2 0 2	
P_2	3 0 3	0 0 1	
P_3	2 1 1	1 0 0	
P_4	0 0 2	0 0 2	

41

Esempio

- Siamo in una situazione di deadlock? Verifichiamolo
 - work = (0,0,0)
 - i=0 req[0]=(0,0,0) <= work OK
work = work + (0,1,0) = (0,1,0) finish[0] = true P0✓
 - i=1 req[1]=(2,0,2) <= work NO
 - i=2 req[2]=(0,0,1) <= work NO
 - i=3 req[3]=(1,0,0) <= work NO
 - i=4 req[4]=(0,0,2) <= work NO
- DEADLOCK formato da P1, P2, P3, P4

42

Ripristino

- Quanto spesso chiamare l'algoritmo di rilevazione?
 - Dopo ogni richiesta
 - Ogni N secondi
 - Quando utilizzo della CPU scende sotto una soglia T
- Cosa fare?
 - Uccisione processi coinvolti
 - Prelazione delle risorse dai processi bloccati nel deadlock

Uccisione processi coinvolti

- Uccisione di tutti i processi
 - Costoso
 - Tutti i processi devono ripartire e perdono il lavoro svolto
- Uccisione selettiva fino alla scomparsa del deadlock
 - Costoso
 - Invoca l'algoritmo di rilevazione dopo ogni uccisione
 - In che ordine?
 - Priorità, tipi di risorse allocate, quante risorse mancavano, quanto tempo mancava alla fine, interattivo o batch, è il processo del capo?

Prelazione delle risorse

- A chi toglierle e in quale ordine?
 - Problema
 - Il processo che subisce la prelazione non può continuare normalmente
 - Soluzione
 - Rollback in uno stato *safe*, e ripartenza da questo stato
- Eventualmente *total rollback* (cioè riparto da zero)
- Problema
 - Starvation possibile, se tolgo le risorse sempre agli stessi processi
- Soluzione
 - Considerare il numero di rollback nei fattori di costo

Conclusione

- Ognuno dei tre approcci visti ha vantaggi e svantaggi
- Nessuno è sempre superiore agli altri
- Soluzione “combinata”:
 - Partizionare le risorse in classi
 - Usare una strategia di ordinamento tra classi di risorse (priorità)
 - All’interno di una classe, usare l’algoritmo più appropriato per quella classe

Conclusione

- Partizionare e ordinare le risorse in classi:
 1. Risorse interne (usate dal sistema, es.: PCB, I/O)
 2. Memoria
 3. Risorse di processo (es. File)
 4. Spazio di swap (blocchi su disco)

Conclusione

- Algoritmi specifici:
 1. Prevenzione tramite ordinamento delle risorse
 2. Prevenzione tramite prelazione
 - Un job può in genere essere “swappato”
 3. Prevenzione dinamica
 - Richiesta massima di risorse tipicamente nota a priori
 4. Prevenzione tramite preallocazione (v. hold & wait)
 - Richiesta massima di memoria tipicamente nota a priori

Conclusione

- Possibile anche la soluzione più semplice
 - STRUZZO
 - Es.: UNIX
 - In fin dei conti:
 - I deadlock si verificano poche volte!
 - La prevenzione è costosa!
 - Il recovery è costoso!
 - Gli algoritmi spesso sono sbagliati!

A. Tannenbaum