

**Sistemi Distribuiti e Cloud Computing A.A. 2022/23**  
**Esercizi sulla consistenza nei sistemi distribuiti**

**Seconda prova intermedia 2012/2013 – Esercizio 2**

Si consideri il seguente archivio di dati:

P1:    W(x)a            R(x)b            W(x)c  
P2:    R(x)a            W(x)b            R(x)c  
P3:    R(x)X                    R(x)?

X può assumere i valori a, b, c. Per ciascun valore che X può assumere, si discuta qual è l'insieme di valori che può essere letto da P3 nella sua seconda operazione di lettura affinché l'archivio di dati soddisfi la consistenza sequenziale, motivando la risposta.

Se X=a, P3 può leggere nella sua seconda operazione di lettura {a, b, c}.

Infatti, nel caso ?=a, esiste una qualche sequenza con cui ordinare le 8 operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo, ad es.:

$W_1(x)a \rightarrow R_2(x)a \rightarrow R_3(x)a \rightarrow R_3(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow W_1(x)c \rightarrow R_2(x)c$

Similmente, nel caso ?=b una possibile sequenza è:

$W_1(x)a \rightarrow R_3(x)a \rightarrow R_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow W_1(x)c \rightarrow R_2(x)c$

Infine, nel caso ?=c una possibile sequenza è:

$W_1(x)a \rightarrow R_2(x)a \rightarrow R_3(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow W_3(x)c \rightarrow R_2(x)c \rightarrow R_3(x)c$

Se X=b, P3 può leggere nella sua seconda operazione di lettura {b, c}.

Infatti, nel caso ?=b, esiste una qualche sequenza con cui ordinare le 8 operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo, ad es.:

$W_1(x)a \rightarrow R_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow W_1(x)c \rightarrow R_1(x)c$

Similmente, nel caso ?=c una possibile sequenza è:

$W_1(x)a \rightarrow R_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow W_1(x)c \rightarrow R_3(x)c \rightarrow R_2(x)c$

Invece nel caso ?=a non è possibile trovare una qualche sequenza di ordinamento delle operazioni che rispetti l'ordine di programma di P3.

Se X=c, P3 può leggere nella sua seconda operazione di lettura {c}.

Infatti, nel caso ?=c, esiste una qualche sequenza con cui ordinare le 8 operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo, ad es.:

$W_1(x)a \rightarrow R_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow W_1(x)c \rightarrow R_2(x)c \rightarrow R_3(x)c \rightarrow R_3(x)c$

Invece nei caso ?=a e ?=b non è possibile trovare una qualche sequenza di ordinamento delle operazioni che rispetti l'ordine di programma di P3.

**Riassumendo:**

X	?
a	{a, b, c}
b	{b, c}
c	{c}

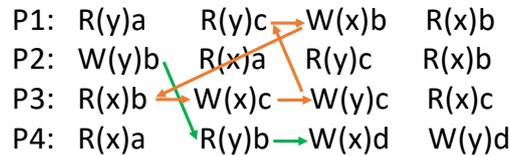
**Seconda prova intermedia 2013/2014 – Esercizio 1**

Si consideri il seguente archivio di dati:

P1:    R(y)a            R(y)c            W(x)b            R(x)b  
P2:    W(y)b            R(x)a            R(y)c            R(x)b  
P3:    R(x)b            W(x)c            W(y)c            R(x)c  
P4:    R(x)a            R(y)b            W(x)d            W(y)d

Si discuta se tale archivio di dati soddisfa la consistenza causale, motivando la risposta. Quale grado massimo di consistenza data-centrica è soddisfatto se l'operazione  $R(y)c$  viene rimossa da P1?

Occorre individuare le operazioni le scrittura in relazione di causa-effetto.



Consideriamo i possibili grafi di dipendenza delle operazioni ed identifichiamo l'eventuale presenza di cicli (ovvero violazione della consistenza causale). La sequenza in verde non causa violazioni, mentre la sequenza in arancione sì, in quanto vi è una dipendenza circolare. Pertanto l'archivio non soddisfa la consistenza causale.

Se l'operazione  $R_1(y)c$  viene rimossa, l'archivio soddisfa la consistenza causale, ovvero si spezza il ciclo arancione mostrato in figura.

### Seconda prova intermedia 2015/2016 - Esercizio 3

Si consideri il seguente archivio di dati e si discuta qual è il massimo grado di consistenza data-centrica supportata dall'archivio di dati, motivando opportunamente la risposta.

P1:	$W(x)b$	$R(x)c$	$R(y)b$	$W(x)d$
P2:	$R(y)a$	$W(y)b$	$R(x)b$	$R(y)d$
P3:	$R(x)b$	$W(x)c$	$R(y)c$	$R(x)d$
P4:	$R(x)a$	$R(x)b$	$W(y)c$	$W(y)d$

L'archivio rispetta la consistenza sequenziale (e quindi anche la consistenza causale). Infatti, assumendo che il valore iniziale delle variabili  $x$  e  $y$  sia uguale ad  $a$ , è possibile trovare una qualche sequenza con cui ordinare le 16 operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo:

$R_2(y)a \rightarrow R_4(x)a \rightarrow W_1(x)b \rightarrow W_2(y)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow R_4(x)b \rightarrow R_2(x)b \rightarrow W_3(x)c \rightarrow$   
 $R_1(x)c \rightarrow R_1(y)b \rightarrow W_4(y)c \rightarrow R_3(y)c \rightarrow W_1(x)d \rightarrow R_3(x)d \rightarrow W_4(y)d \rightarrow R_2(y)d$

### Seconda prova intermedia 2016/2017 - Esercizio 1

Qual è il massimo grado di consistenza soddisfatto dall'archivio di dati sottostante? Motivare la risposta.

P0:	$W(x)10$	$W(x)30$
P1:	$R(x)10$	$W(x)20$
P2:	$R(x)10$	$R(x)30$
P3:	$R(x)20$	$R(x)10$
		$R(x)30$

L'archivio non rispetta la consistenza causale a causa dell'ordine delle operazioni di lettura  $R_3(x)20$  e  $R_3(x)10$  (le scritture  $W_0(x)10$  e  $W_1(x)20$  sono in relazione di causa-effetto ma P3 legge prima l'effetto e poi la causa). Pertanto non rispetta nemmeno la consistenza sequenziale.

### Seconda prova intermedia 2017/2018 - Esercizio 3

a) L'archivio di dati sottostante soddisfa la consistenza sequenziale? Motivare la risposta.

P0:	R(x)a	W(x)b		W(x)a	R(x)b
P1:			R(x)a	R(x)b	
P2:	W(x)b	R(x)a	R(x)b		

L'archivio non soddisfa la consistenza sequenziale, in quanto non è possibile trovare una sequenza con cui ordinare le operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo; ciò a causa dell'inversione dell'ordine delle operazioni R(x)a e W(x)b su P0 e P2.

b) L'archivio di dati sottostante soddisfa la consistenza causale? Motivare la risposta.

P0:	R(x)a	R(x)b	W(x)a		W(x)d	
P1:	R(x)a	R(x)b		R(x)a	W(x)c	
P2:		R(x)b	R(x)a	R(x)a	R(x)d	R(x)c

L'archivio soddisfa la consistenza causale, in quanto le operazioni di scrittura  $W_0(x)a$  e  $W_1(x)c$ , che sono in relazione di causa-effetto, sono viste nell'ordine corretto da P2; le operazioni di scrittura  $W_1(x)c$  e  $W_0(x)d$  sono tra loro concorrenti e quindi possono essere viste in un ordine differente da P2.

### Seconda prova intermedia 2018/2019 - Esercizio 1

a) L'archivio di dati sottostante soddisfa la consistenza sequenziale? E la consistenza causale? Motivare la risposta.

P1:	W(x)1	R(x)1	R(y)0
P2:	W(y)1	R(y)1	R(x)1
P3:	R(x)1	R(y)0	
P4:	R(y)0	R(x)0	

L'archivio rispetta la consistenza sequenziale (e quindi anche la consistenza causale). Infatti, assumendo che il valore iniziale delle variabili x e y sia uguale a 0, è possibile trovare una qualche sequenza con cui ordinare le 10 operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo:

$R_4(y)0 \rightarrow R_4(x)0 \rightarrow W_1(x)1 \rightarrow R_1(x)1 \rightarrow R_1(y)0 \rightarrow R_3(x)1 \rightarrow R_3(y)0 \rightarrow W_2(y)1 \rightarrow R_2(y)1 \rightarrow R_2(x)1$

b) L'archivio di dati sottostante soddisfa la consistenza sequenziale? E la consistenza causale? Motivare la risposta.

P1:		W(x)1			
P2:			W(x)2		
P3:	R(x)2		R(x)1	W(y)3	
P4:			R(x)2	W(x)1	R(y)3

L'archivio rispetta la consistenza sequenziale (e quindi anche la consistenza causale). Infatti, è possibile trovare una qualche sequenza con cui ordinare le 8 operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo:

$W_2(x)2 \rightarrow R_3(x)2 \rightarrow R_4(x)2 \rightarrow W_1(x)1 \rightarrow R_3(x)1 \rightarrow W_3(y)3 \rightarrow W_4(x)1 \rightarrow R_4(y)3$

### Appello 2018/2019

Si determini, motivando la risposta, quali valori possono essere letti da P4 in corrispondenza di ? per  $K = \{b, d, e\}$  affinché l'archivio soddisfi: 1) la consistenza sequenziale; 2) la consistenza causale.

P1:	R(x)b	W(y)c	W(x)d	
P2:	W(x)a	W(x)b	W(x)e	R(y)c

P3: R(x)b                  R(x)e                  R(y)c                  R(x)d  
P4: R(x)K                  R(y)c                  R(x)?

Soluzione in sintesi:

K=b	Sequenziale	? = {b, d, e}
	Causale	? = {b, d, e}
K=d	Sequenziale	? = {d}
	Causale	? = {d, e}
K=e	Sequenziale	? = {d, e}
	Causale	? = {d, e}

Se  $K=b$  e la consistenza è sequenziale, P4 può leggere {b, d, e}.

Infatti, nel caso  $?=b$ , esiste almeno una sequenza con cui ordinare le operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo, ad es.:

$W_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow R_4(x)b \rightarrow W_1(y)c \rightarrow R_4(y)c \rightarrow R_4(x)b \rightarrow W_2(x)e \rightarrow R_3(x)e \rightarrow R_2(y)c \rightarrow W_1(x)d \rightarrow R_3(y)c \rightarrow R_3(x)d$

Similmente, nel caso  $?=d$  una possibile sequenza è:

$W_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow R_4(x)b \rightarrow W_1(y)c \rightarrow R_4(y)c \rightarrow W_2(x)e \rightarrow R_3(x)e \rightarrow R_2(y)c \rightarrow W_1(x)d \rightarrow R_3(y)c \rightarrow R_3(x)d \rightarrow R_4(x)d$

Infine, nel caso  $?=e$  una possibile sequenza è:

$W_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow R_4(x)b \rightarrow W_1(y)c \rightarrow R_4(y)c \rightarrow W_2(x)e \rightarrow R_3(x)e \rightarrow R_4(x)e \rightarrow R_2(y)c \rightarrow W_1(x)d \rightarrow R_3(y)c \rightarrow R_3(x)d$

Se  $K=b$  e la consistenza è causale, P4 può leggere {b, d, e} visto che queste letture sono valide per la consistenza sequenziale, che è più stringente di quella causale.

Se  $K=d$  e la consistenza è sequenziale, P4 può leggere {d}.

Infatti, nel caso  $?=b$ , non esiste una sequenza con cui ordinare le operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo. Infatti, per poter leggere su P4 prima d e poi b non si riesce a rispettare l'ordine di lettura su P3 in cui per x viene letto prima b e poi d, e viceversa.

Nel caso  $?=d$  esiste almeno una sequenza con cui ordinare le operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo, ad es.:

$W_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow W_1(y)c \rightarrow W_2(x)e \rightarrow R_2(y)c \rightarrow R_3(x)e \rightarrow R_3(y)c \rightarrow W_1(x)d \rightarrow R_4(x)d \rightarrow R_4(y)c \rightarrow R_4(x)d \rightarrow R_3(x)d$

Nel caso  $?=e$ , non esiste una sequenza con cui ordinare le operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo. Infatti, per poter leggere su P4 prima il valore d e poi il valore e non si riesce a rispettare l'ordine di programma di P3 in cui per x dovrebbe essere letto prima il valore e poi il valore d, e viceversa.

Se  $K=d$  e la consistenza è causale, P4 può leggere {d, e}.

Infatti nel caso  $?=d$ , P4 può leggere sicuramente d, dato che tale lettura rispetta la consistenza sequenziale.

Nel caso  $?=e$  viene soddisfatta la consistenza causale in quanto le scritture  $W_1(x)d$  e  $W_2(x)e$  sono concorrenti e quindi P3 e P4 possono leggere i due valori in ordine differente.

Nel caso  $?=b$  non viene soddisfatta la consistenza causale in quanto le scritture  $W_2(x)b$  e  $W_1(x)d$  sono potenzialmente in relazione di causa effetto e quindi P4 non può leggere prima l'effetto (d) e poi la causa (b).

Se  $K=e$  e la consistenza è sequenziale, P4 può leggere {d, e}.

Infatti, nel caso  $?=b$ , non esiste una sequenza con cui ordinare le operazioni di lettura e

scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo. Infatti, per poter leggere su P4 prima il valore e e poi il valore b, non si riesce a rispettare l'ordine di programma di P2 in cui per x viene scritto prima il valore b e poi il valore d, e viceversa.

Nel caso  $\neq d$  esiste almeno una sequenza con cui ordinare le operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo, ad es.:

$W_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow W_1(y)c \rightarrow W_2(x)e \rightarrow R_4(x)e \rightarrow R_3(x)e \rightarrow R_3(y)c \rightarrow R_4(y)c \rightarrow R_2(y)c \rightarrow W_1(x)d \rightarrow R_3(x)d \rightarrow R_4(x)d$

Nel caso  $\neq e$  esiste almeno una sequenza con cui ordinare le operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo, ad es.:

$W_2(x)a \rightarrow W_2(x)b \rightarrow R_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow W_1(y)c \rightarrow W_2(x)e \rightarrow R_4(x)e \rightarrow R_3(x)e \rightarrow R_3(y)c \rightarrow R_4(y)c \rightarrow R_4(x)d \rightarrow R_2(y)c \rightarrow W_1(x)d \rightarrow R_3(x)d$

Se  $K=e$  e la consistenza è causale, P4 può leggere  $\{d, e\}$ .

Infatti, P4 può leggere sia d che e, dato che tale lettura rispetta la consistenza sequenziale (e quindi anche la consistenza causale).

Nel caso  $\neq b$  non viene soddisfatta la consistenza causale in quanto le scritture  $W_2(x)b$  e  $W_1(y)c$  sono potenzialmente in relazione di causa effetto e quindi P4 non può leggere prima l'effetto (c) e poi la causa (b).

## Seconda prova intermedia 2019/2020 – Esercizio 2

a) Qual è il massimo grado di consistenza data centrica soddisfatto dall'archivio di dati sottostante? Motivare la risposta.

P1:	$W(y)0$	$W(x)1$	$R(x)1$	$R(y)0$
P2:		$W(y)1$	$R(y)1$	$R(x)1$
P3:		$R(x)1$	$R(y)0$	
P4:	$W(x)0$	$R(y)0$	$R(x)0$	

L'archivio non rispetta né la consistenza stretta né quella linearizzabile (si veda ad es. la violazione determinata dalle operazioni  $W_2(y)1$  e  $R_1(y)0$ ).

L'archivio rispetta la consistenza sequenziale. Infatti, assumendo che il valore iniziale delle variabili x e y sia uguale a NIL, è possibile trovare una qualche sequenza con cui ordinare le 12 operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo:

$W_4(x)0 \rightarrow W_1(y)0 \rightarrow R_4(y)0 \rightarrow R_4(x)0 \rightarrow W_1(x)1 \rightarrow R_3(x)1 \rightarrow R_1(x)1 \rightarrow R_3(y)0 \rightarrow R_1(y)0 \rightarrow W_2(y)1 \rightarrow R_2(y)1 \rightarrow R_2(x)1$

b) Qual è il massimo grado di consistenza data centrica soddisfatto dall'archivio di dati sottostante? Motivare la risposta.

P1:	$W(x)0$	$W(x)1$	$R(x)2$	$W(x)3$
P2:	$R(x)0$	$W(x)2$	$R(x)3$	
P3:	$R(x)1$	$R(x)1$	$R(x)2$	

L'archivio non rispetta né la consistenza stretta né quella linearizzabile (si veda ad es. la violazione determinata dalle operazioni  $W_1(x)3$  e  $R_2(x)3$ ).

L'archivio rispetta la consistenza sequenziale. Infatti, assumendo che il valore iniziale delle variabili x e y sia uguale a NIL, è possibile trovare una qualche sequenza con cui ordinare le 10 operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo:

$W_1(x)0 \rightarrow R_2(x)0 \rightarrow W_1(x)1 \rightarrow R_3(x)1 \rightarrow R_3(x)1 \rightarrow W_2(x)2 \rightarrow R_3(x)2 \rightarrow R_1(x)2 \rightarrow W_1(x)3 \rightarrow R_2(x)3$

## Seconda prova intermedia 2021/22 - Esercizio 1

Qual è il massimo grado di consistenza data centrica soddisfatto dall'archivio di dati sottostante? Si spieghi in particolare se soddisfa uno dei due tipi di consistenza definiti al punto a), motivando opportunamente la risposta.

P1:	W(x)a	W(x)b	R(x)c	W(x)d
P2:	R(x)a	W(x)c	R(x)d	
P3:	R(x)b	R(x)b	R(x)c	

La risposta cambia ed eventualmente come aggiungendo il processo P4?

P1:	W(x)a	W(x)b	R(x)c	W(x)d
P2:	R(x)a	W(x)c	R(x)d	
P3:	R(x)b	R(x)b	R(x)c	
P4:	W(x)a	R(x)d	R(x)c	

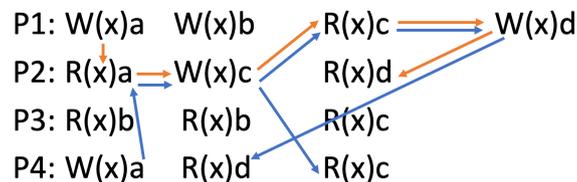
L'archivio non rispetta né la consistenza stretta né quella linearizzabile (si veda ad es. la violazione determinata dalle operazioni  $W_1(x)a$  e  $R_3(x)b$ ).

L'archivio rispetta la consistenza sequenziale. Infatti, assumendo che il valore iniziale delle variabili  $x$  e  $y$  sia uguale a NIL, è possibile trovare una qualche sequenza con cui ordinare le 10 operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo:

$W_1(x)a \rightarrow R_2(x)a \rightarrow W_1(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow R_3(x)b \rightarrow W_2(x)c \rightarrow R_1(x)c \rightarrow R_3(x)c \rightarrow W_1(x)d \rightarrow R_2(x)d$

Aggiungendo il processo P4 la risposta cambia, in quanto l'archivio non soddisfa più la consistenza sequenziale. Infatti, non è possibile trovare una sequenza con cui ordinare le operazioni di lettura e scrittura e tale che in essa venga rispettato l'ordine di programma di ogni processo; ciò a causa dell'inversione dell'ordine delle operazioni  $R(x)d$  e  $R(x)c$  su P4 e dell'ordine di programma delle operazioni  $R(x)c$  e  $W(d)$  su P1.

Per analizzare la consistenza causale, occorre individuare le operazioni le scrittura in relazione di causa-effetto.



La sequenza in arancione non causa violazioni, mentre la sequenza in blu sì, in quanto P4 legge prima l'effetto (d) e poi la causa (d). Pertanto l'archivio non soddisfa la consistenza causale.