



Politecnico di Milano

Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria

prof. Luca Breveglieri
prof. Gerardo Pelosi

prof.ssa Donatella Sciuto
prof.ssa Cristina Silvano

AXO – Architettura dei Calcolatori e Sistemi Operativi

SECONDA PARTE – lunedì 14 febbraio 2022

Cognome _____ **Nome** _____

Matricola _____ **Firma** _____

Istruzioni

- Si scriva solo negli spazi previsti nel testo della prova e non si separino i fogli.
- Per la minuta si utilizzino le pagine bianche inserite in fondo al fascicolo distribuito con il testo della prova. I fogli di minuta se staccati vanno consegnati intestandoli con nome e cognome.
- È vietato portare con sé libri, eserciziari e appunti, nonché cellulari e altri dispositivi mobili di calcolo o comunicazione. Chiunque fosse trovato in possesso di documentazione relativa al corso – anche se non strettamente attinente alle domande proposte – vedrà annullata la propria prova.
- Non è possibile lasciare l'aula conservando il tema della prova in corso.
- Tempo a disposizione **1 h : 30 m**

Valore indicativo di domande ed esercizi, voti parziali e voto finale:

esercizio 1 (4 punti) _____

esercizio 2 (5 punti) _____

esercizio 3 (5 punti) _____

esercizio 4 (2 punti) _____

voto finale: (16 punti) _____

CON SOLUZIONI (in corsivo)

esercizio n. 1 – programmazione concorrente

Si consideri il programma C seguente (gli `#include` e le inizializzazioni dei *mutex* sono omessi, come anche il prefisso `pthread` delle funzioni di libreria NPTL):

```
pthread_mutex_t sun, moon
sem_t star
int global = 0
```

```
void * day (void * arg) {
```

```
    mutex_lock (&sun)
```

```
    sem_post (&star)
```

```
    global = 1
```

```
    /* statement A */
```

```
    mutex_unlock (&sun)
```

```
    global = 2
```

```
    mutex_lock (&moon)
```

```
    sem_wait (&star)
```

```
    mutex_unlock (&moon)
```

```
    return (void *) 3
```

```
} /* end day */
```

```
void * night (void * arg) {
```

```
    mutex_lock (&sun)
```

```
    sem_wait (&star)
```

```
    mutex_lock (&moon)
```

```
    global = 4
```

```
    /* statement B */
```

```
    mutex_unlock (&moon)
```

```
    sem_post (&star)
```

```
    global = 5
```

```
    /* statement C */
```

```
    mutex_unlock (&sun)
```

```
    return NULL
```

```
} /* end night */
```

```
void main ( ) {
```

```
    pthread_t th_1, th_2
```

```
    sem_init (&star, 0, 0)
```

```
    create (&th_2, NULL, night, NULL)
```

```
    create (&th_1, NULL, day, NULL)
```

```
    join (th_1, &global)
```

```
    /* statement D */
```

```
    join (th_2, NULL)
```

```
    return
```

```
} /* end main */
```

Si completi la tabella qui sotto **indicando lo stato di esistenza del *thread*** nell'istante di tempo specificato da ciascuna condizione, così: se il *thread* **esiste**, si scriva **ESISTE**; se **non esiste**, si scriva **NON ESISTE**; e se può essere **esistente** o **inesistente**, si scriva **PUÒ ESISTERE**. Ogni casella della tabella va riempita in uno dei tre modi (non va lasciata vuota).

Si badi bene alla colonna "condizione": con "subito dopo statement X" si chiede lo stato che il *thread* assume tra lo statement X e lo statement immediatamente successivo del *thread* indicato.

condizione	<i>thread</i>	
	th_1 – day	th_2 – night
subito dopo stat. A	<i>ESISTE</i>	<i>ESISTE</i>
subito dopo stat. B	<i>ESISTE</i>	<i>ESISTE</i>
subito dopo stat. C	<i>PUÒ ESISTERE</i>	<i>ESISTE</i>
subito dopo stat. D	<i>NON ESISTE</i>	<i>PUÒ ESISTERE</i>

Si completi la tabella qui sotto, **indicando i valori delle variabili globali** (sempre esistenti) nell'istante di tempo specificato da ciascuna condizione. Il **valore** della variabile va indicato così:

- intero, carattere, stringa, quando la variabile ha un valore definito; oppure X quando è indefinita
- se la variabile può avere due o più valori, li si riporti tutti quanti
- il semaforo può avere valore positivo o nullo (non valore negativo)
- si supponga che il mutex valga 1 se occupato, e valga 0 se libero

Si badi bene alla colonna "condizione": con "subito dopo statement X" si chiede il valore (o i valori) che la variabile ha tra lo statement X e lo statement immediatamente successivo del *thread* indicato.

condizione	variabili globali			
	<i>sun</i>	<i>moon</i>	<i>star</i>	<i>global</i>
subito dopo stat. A	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
subito dopo stat. B	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>2 / 4</i>
subito dopo stat. C	<i>1</i>	<i>0 / 1</i>	<i>0 / 1</i>	<i>2 / 3 / 5</i>
subito dopo stat. D	<i>0 / 1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>3 / 5</i>

Il sistema può andare in stallo (*deadlock*), con uno o più *thread* che si bloccano, in (almeno) **tre casi diversi**. Si chiede di precisare il comportamento dei thread in **due casi**, indicando gli statement dove avvengono i blocchi e i possibili valori della variabile *global*:

caso	th_1 – day	th_2 – night	<i>global</i>
1	<i>lock sun</i>	<i>wait star</i>	<i>0</i>
2	<i>wait star</i>	<i>lock moon</i>	<i>2</i>
3		<i>wait star</i>	<i>2 / 3</i>

esercizio n. 2 – processi e nucleo

prima parte – gestione dei processi

// programma foo.c	
int main () {	
pid1 = fork ()	// creazione del processo Q
if (pid1 == 0) {	// codice eseguito da Q
write (stdout, "proc Q", 6)	
execl ("/acso/progXY", "progXY", NULL)	
exit (-1)	
} else {	// codice eseguito da P
write (stdout, "Avvio Prog", 10)	
pid2 = fork ()	// creazione del processo R
} /* if */	
if (pid2 == 0) {	// codice eseguito da R
write (stdout, "proc R", 6)	
execl ("/acso/progXY", "progXY", NULL)	
exit (-2)	
} /* if */	
pid2 = waitpid (pid2, NULL, 0)	// codice eseguito da P
pid1 = waitpid (pid2, NULL, 0)	
} /* main */	

// programma progXY.c	
pthread_mutex_t fence = PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER	
sem_t flag	
void * routine1 (void * arg) {	void * routine2 (void * arg) {
sem_wait (&flag)	sem_post (&flag)
sem_post (&flag)	pthread_mutex_lock (&fence)
return NULL	sem_wait (&flag)
} /* routine1 */	pthread_mutex_unlock (&fence)
	sem_post (&flag)
	return NULL
	} /* routine2 */
// codice eseguito da R	
int main () {	
pthread_t TH_1, TH_2	
sem_init (&flag, 0, 0)	
pthread_create (&TH_1, NULL, routine1, NULL)	
pthread_create (&TH_2, NULL, routine2, NULL)	
write (stdout, "Fine!", 5)	
pthread_join (TH_2, NULL)	
pthread_join (TH_1, NULL)	
exit (1)	
} /* main */	

Un processo **P** esegue il programma **foo.c** e crea i processi **Q** e **R**. Il processo **Q** esegue una mutazione di codice che **non** va a buon fine. Il processo **R** effettua con successo una mutazione di codice ed esegue il programma **progXY.c**, creando i thread **TH_1** e **TH_2**.

Si simuli l'esecuzione dei processi così come risulta dal codice dato, dagli eventi indicati.

Si completi la tabella riportando quanto segue:

- PID e TGID di ogni processo che viene creato
- identificativo del processo-chiamata di sistema / libreria nella prima colonna, dove necessario
- in funzione del codice proposto in ciascuna riga, lo stato dei processi **al termine del tempo indicato**

TABELLA DA COMPILARE (numero di colonne non significativo)

identificativo simbolico del processo		IDLE	P	Q	R	TH_1	TH_2
evento oppure processo-chiamata	PID	1	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
	TGID	1	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>4</i>
P – write	1	esec	attesa (write)	attesa (write)	NE	NE	NE
10 interrupt da stdout	2	<i>pronto</i>	<i>attesa (write)</i>	esec	<i>NE</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
<i>Q – execl</i>	3	<i>pronto</i>	<i>attesa (write)</i>	<i>esec</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
<i>interrupt da RT_clock scadenza QdT (Q resta esec)</i>	4	<i>pronto</i>	<i>attesa (write)</i>	<i>esec</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
6 interrupt da stdout (tutti i caratteri trasferiti)	5	<i>pronto</i>	<i>esec</i>	<i>pronto</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
<i>P – pid2 = fork</i>	6	<i>pronto</i>	<i>esec</i>	<i>pronto</i>	<i>pronto</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
P – waitpid pid2	7	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	esec	<i>pronto</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
<i>Q – exit</i>	8	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>esec</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
<i>R – write</i>	9	<i>esec</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>attesa (write)</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
6 interrupt da stdout	10	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>esec</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
<i>R – execl</i>	11	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>esec</i>	<i>NE</i>	<i>NE</i>
<i>R – pthread_create TH_1</i>	12	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>esec</i>	<i>pronto</i>	<i>NE</i>
<i>R – pthread_create TH_2</i>	13	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>esec</i>	pronto	<i>pronto</i>
R – write	14	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>attesa (write)</i>	<i>esec</i>	<i>pronto</i>
<i>TH_1 – wait flag</i>	15	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>attesa (write)</i>	<i>attesa (wait)</i>	<i>esec</i>
<i>TH_2 – post flag</i>	16	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>attesa (write)</i>	<i>esec</i>	<i>pronto</i>
<i>TH_1 – post flag</i>	17	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>attesa (write)</i>	<i>esec</i>	<i>pronto</i>
<i>TH_1 – return</i>	18	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>attesa (write)</i>	<i>NE</i>	<i>esec</i>
<i>TH_2 – lock fence</i>	19	<i>pronto</i>	<i>attesa (wait pid2)</i>	<i>NE</i>	<i>attesa (write)</i>	<i>NE</i>	<i>esec</i>

seconda parte – moduli, pila e strutture dati HW

Si consideri il seguente stato di esecuzione:

CURR = P Q = WAIT (write)

La runqueue contiene un solo task dato dal processo **P**, mentre il processo **Q** è in stato di **attesa da stdout** per la scrittura di 10 caratteri a seguito dell'esecuzione di una **write (...)** della libreria *glibc*. Il sistema non contiene altri task.

Si consideri questo evento: il **processo P** è in esecuzione in **modo U**, e si attivano 10 interruzioni da stdout risvegliando il processo **Q**; di esse si considera solo l'ultima. **La condizione di preemption è verificata.**

Domanda:

- Mostrare le **invocazioni di tutti i moduli** (ed eventuali relativi **ritorni**) eseguiti nel contesto del processo **P** e del processo **Q**, per gestire l'evento indicato fino al ritorno di **Q** nella **write (...)** della *glibc*.
- Mostrare (in modo simbolico) l'evoluzione dello **stack di sistema** del processo **P** al termine della gestione dell'evento considerato (parte dello stack finale di **P** è già mostrata). È mostrato per intero lo **stack di sistema iniziale** del processo **Q**.

invocazione moduli – numero di righe non significativo

processo	modo	modulo
P	U – S	>R_Int (stdout)
P	S	>wakeup
P	S	>check_preempt_curr
P	S	>resched<
P	S	check_preempt_curr<
P	S	wakeup<
P	S	>schedule
P	S	>pick_next_task<
P – Q	S	schedule: context switch
Q	S	schedule<
Q	S	wait_event<
Q	S	sys_write
Q	S – U	System_Call: SYSRET
Q	U	syscall
Q	U	write

sStack_P finale

sStack_Q iniziale

USP	
a schedule da pick_next_task	USP
a R_Int da schedule	a schedule da pick_next_task
a check_preempt_curr da resched	a wait_event da schedule
a wakeup da check_preempt_curr	a sys_write da wait_event
a R_Int da wakeup	a System_Call da sys_write
PSR (u)	PSR (u)
a codice utente da R_Int	a syscall da System_Call

esercizio n. 3 – memoria e file system

prima parte – gestione dello spazio di memoria

È dato un sistema di memoria caratterizzato dai seguenti parametri generali:

MAXFREE = 3

MINFREE = 2

situazione iniziale (esistono un processo P, un processo Q e un processo R)

PROCESSO: P *****

VMA : C 000000400, 2, R, P, M, <X,0>
D 000000600, 4, W, P, A, <-1,0>
P 7FFFFFFFC, 3, W, P, A, <-1,0>

PT: <c0 :1 R> <c1 :- -> <d0 :s1 R> <d1 :7 W> <d2 :2 W> <d3 :- ->
<p0 :6 W> <p1 :5 R> <p2 :- ->

process P - NPV of PC and SP: c0, p1

PROCESSO: Q *****SOLO LE INFORMAZIONI RILEVANTI *****

process Q - NPV of PC and SP: c0, p0

PROCESSO: R *****SOLO LE INFORMAZIONI RILEVANTI *****

process R - NPV of PC and SP: c0, p0

MEMORIA FISICA (pagine libere: 3)

00 : <ZP>	01 : Pc0 / Qc0 / Rc0 / <X,0>
02 : Pd2	03 : Rp0 D
04 : ----	05 : Pp1 / Rp1
06 : Pp0	07 : Pd1
08 : ----	09 : ----

STATO del TLB

Pc0 : 01 - 0: 1:	Pp0 : 06 - 1: 1:
Pd2 : 02 - 1: 0:	Pp1 : 05 - 1: 1:
Pd1 : 07 - 1: 0:	-----
-----	-----

SWAP FILE: Qp0, Pd0/Rd0, ----, ----, ----, ----,

LRU ACTIVE: PP0, PC0, PP1,

LRU INACTIVE: pd2, pd1, rp0, rc0, rp1, qc0,

evento 1: read(Pp2) write(Pp3)

La pagina Pp2 da leggere è di growdown (non ancora allocata in memoria fisica), pertanto si modifica la VMA di P (aggiungendo la pagina virtuale Pp3 come growdown), e si alloca Pp2 in pagina ZP con accesso a R per abilitare COW in successive scritture. La pagina Pp3 da scrivere è di growdown (non ancora allocata in memoria fisica), pertanto si modifica la VMA di P (aggiungendo la pagina virtuale Pp4 come growdown), si genera un COW (in linea di principio da ZP) e deve essere allocata una nuova pagina. Si alloca Pp3 in pagina 4 con accesso a W. Ad ogni caricamento di pagina si modifica la lista Active (Pp2 e Pp3 in testa).

VMA del processo P (è da compilare solo la riga relativa alla VMA P)							
AREA	NPV iniziale	dimensione	R/W	P/S	M/A	nome file	offset
P	7FFF FFFF A	5	W	P	A	-1	0

PT del processo: P									
p0: 6	W	p1: 5	R	p2: 0	R	p3: 4	W	p4: -	-

process P	NPV of PC: c0	NPV of SP: p3
------------------	---------------	---------------

MEMORIA FISICA	
00: <ZP> / Pp2 / Pp3	01: Pc0 / Qc0 / Rc0 <X, 0>
02: Pd2	03: Rp0 D
04: Pp3	05: Pp1 / Rp1
06: Pp0	07: Pd1
08: -----	09: -----

SWAP FILE	
s0: Qp0	s1: Pd0 / Rd0
s2:	s3:
s4:	s5:

LRU ACTIVE: PP3, PP2, PP0, PC0, PP1 _____

LRU INACTIVE: pd2, pd1, rp0, rc0, rp1, qc0 _____

evento 2: read(Pd0) write(Pp1)

La lettura di Pd0 genera uno swap_in, ma free = 2 e quindi scatta PFRA che libera la pagina fisica 03 (Rp0) e la 07 (Pd1). Entrambe devono essere salvate nello swap file (negli slot s2 e s3) ed eliminate dalla lista Inactive. Pd0 (e Rd0) viene caricata in 03 (e naturalmente resta anche nello swap file, dato che non viene modificata). Si aggiornano le liste (Pd0 in Active, testa, e Rd0 in Inactive, coda). La scrittura di Pp1 causa un COW e deve essere allocata una nuova pagina. Si alloca Pp1 in pagina 07 con accesso a W. La pagina 05 con Rp1 viene marcata D a causa dello stato del TLB di Pp1 precedente a questa scrittura (infatti nel TLB la pagina Rp1 figurava dirty, quando era ancora condivisa con Pp1).

PT del processo: P				
d0: 3	R	d1: s3	W	

process P	NPV of PC: c0	NPV of SP: p1
------------------	---------------	---------------

MEMORIA FISICA	
00: <ZP> / Pp2	01: Pc0 / Qc0 / Rc0 <X, 0>
02: Pd2	03: Rp0 Pd0 / Rd0
04: Pp3	05: Rp1 D
06: Pp0	07: Pd1 Pp1

08: -----	09: -----
-----------	-----------

SWAP FILE	
s0: <i>Qp0</i>	s1: <i>Pd0 / Rd0</i>
s2: <i>Rp0</i>	s3: <i>Pd1</i>
s4:	s5:

LRU ACTIVE: *PD0, PP3, PP2, PP0, PC0, PP1* _____

LRU INACTIVE: *pd2, rc0, rp1, qc0, rd0* _____

seconda parte – file system

È dato un sistema di memoria caratterizzato dai seguenti parametri generali:

MAXFREE = 2 **MINFREE = 1**

Si consideri la seguente **situazione iniziale**.

process P – NPV of PC and SP: c2, p0

MEMORIA FISICA (pagine libere: 1)			
00 : <ZP>		01 : Pc2 / Qc2 / <X, 2>	
02 : Qp0 D		03 : <F, 0> D	
04 : <F, 1> D		05 : <F, 2> D	
06 : Pp0		07 : ----	
STATO del TLB			
Pc2 : 01 - 0: 1:		Pp0 : 06 - 1: 1:	
-----		-----	
-----		-----	

processo/i	file	f_pos	f_count	numero pag. lette	numero pag. scritte
P, Q	F	9000	2	3	0

ATTENZIONE: è presente la colonna “processo” in cui va specificato il nome/i del/i processo/i a cui si riferiscono le informazioni “f_pos” e “f_count” (campi di struct file) relative al file indicato

Il processo **P** è in esecuzione. Il file **F** è stato aperto da **P** tramite chiamata **fd = open (F)**.

ATTENZIONE: il numero di pagine lette o scritte di un file è cumulativo, ossia è la somma delle pagine lette o scritte su quel file da tutti gli eventi precedenti oltre a quello considerato. Si ricorda inoltre che la primitiva *close* scrive le pagine dirty di un file solo se *f_count* diventa = 0.

Per ciascuno degli eventi seguenti, **compilare** le tabelle richieste con i dati relativi al contenuto della memoria fisica, delle variabili del FS relative ai file aperti e al numero di accessi a disco effettuati in lettura e in scrittura.

eventi 1 e 2: *context switch (Q)* *close (fd)*

La pagina 06 con Pp0 viene marcata D a causa del flush (svuotamento) del TLB indotto dal context switch che mette in esecuzione il processo Q (tutte le PTE relative a P nel TLB vengono cancellate).

MEMORIA FISICA	
00: <ZP>	01: Pc2 / Qc2 / <X, 2>
02: Qp0 D	03: <F, 0> D
04: <F, 1> D	05: <F, 2> D
06: Pp0 D	07: ----

processo/i	file	f_pos	f_count	numero pag. lette	numero pag. scritte
P	F	9000	1	3	0

eventi 3 e 4: context switch (P) write (fd, 5000)

Il context switch modifica solo il TLB (flush, svuotamento). La write implica l'accesso ai blocchi F2 e F3 del file (la posizione 9000 cade nel blocco F2 e la posizione 9000+5000 = 14000 cade nel blocco F3). Il blocco F2 è già in memoria e viene scritto in memoria, mentre il blocco F3 deve prima essere caricato. Si ha minfree = 1 e free = 1, pertanto si attiva PFRA che libera le pagine di page cache 03 e 04, eseguendo anche due scritture su disco (poiché entrambe queste pagine sono marcate D). Poi il blocco F3 viene caricato in pagina fisica 03, e quindi scritto in memoria, dunque questa pagina viene marcata D. Una lettura da disco e due scritture su disco.

MEMORIA FISICA	
00: <ZP>	01: P _{c2} / Q _{c2} / <X, 2>
02: Q _{p0} D	03: <F, 0> <F, 3> D
04: <F, 1> ----	05: <F, 2> D
06: P _{p0} D	07: ----

processo/i	file	f_pos	f_count	numero pag. lette	numero pag. scritte
P	F	14000	1	4	2

evento 5: close (fd)

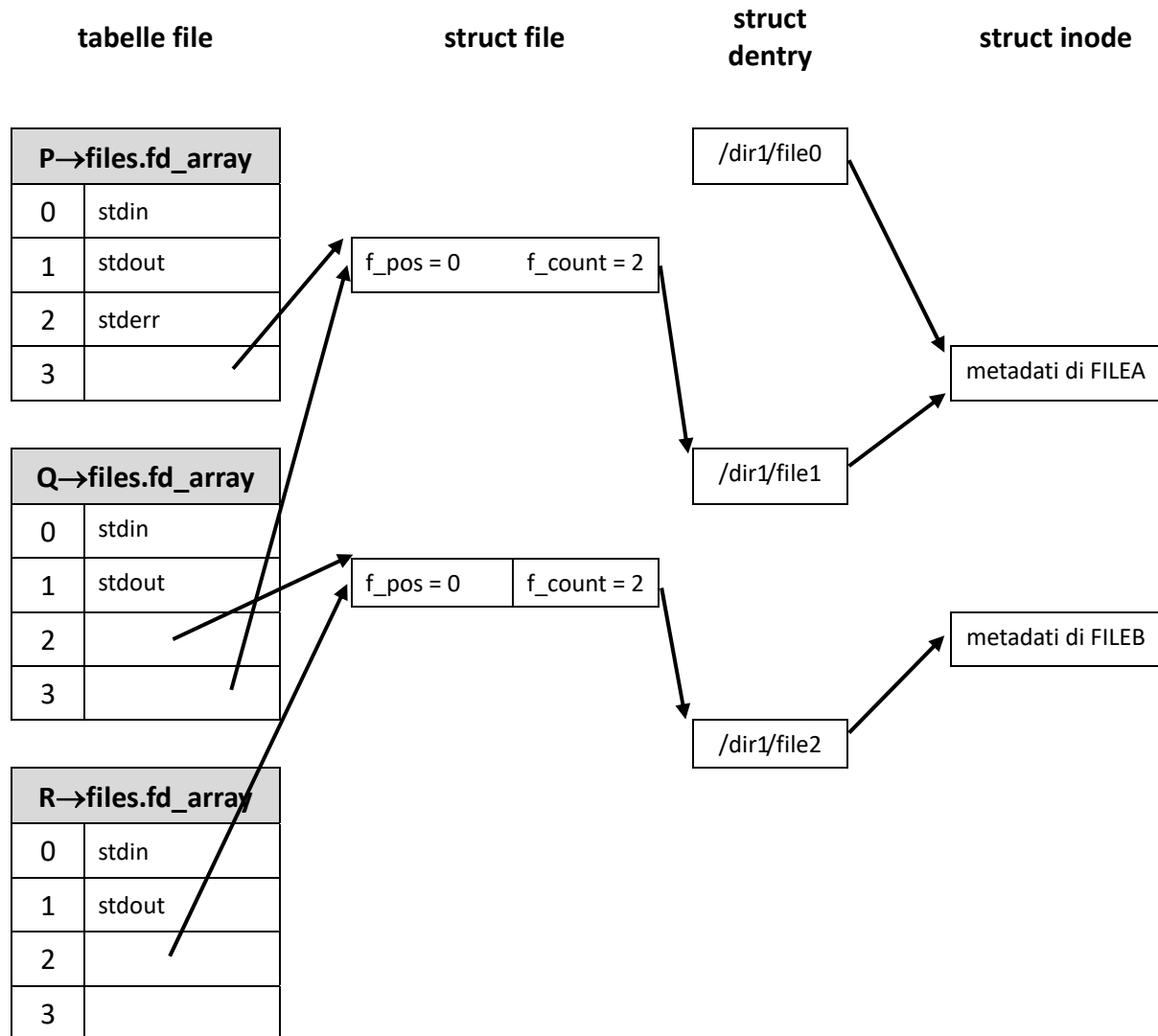
Il contatore f_count del file F scende a 0, pertanto vengono scritti su disco i blocchi del file F presenti in memoria e marcati D (sono quelli nelle pagine fisiche 03 e 05, ossia F3 e F2). I blocchi in memoria restano lì (come pagine di page cache), ma perdono la marcatura D. Due scritture su disco.

MEMORIA FISICA	
00: <ZP>	01: P _{c2} / Q _{c2} / <X, 2>
02: Q _{p0} D	03: <F, 3>
04: ----	05: <F, 2>
06: P _{p0} D	07: ----

processo/i	file	f_pos	f_count	numero pag. lette	numero pag. scritte
-	F	-----	0	4	4

esercizio n. 4 – strutture dati del file system

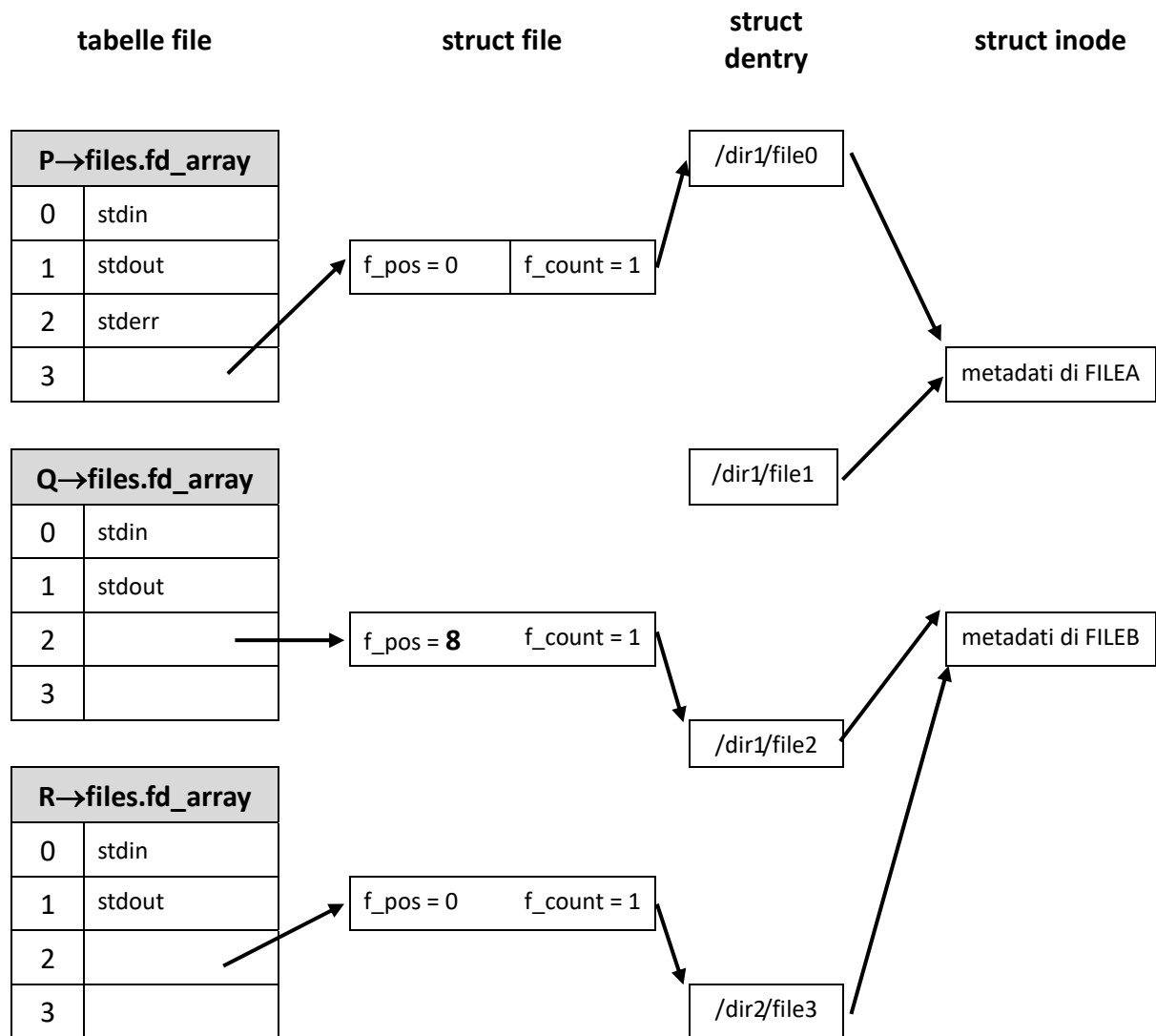
La figura sottostante è una rappresentazione dello stato del VFS raggiunto dopo l'esecuzione in sequenza di un certo numero di chiamate di sistema (non riportate):



Il processo **P** ha creato il processo figlio **Q**, che a sua volta ha creato il processo figlio **R**.

Ora si supponga di partire dallo stato del VFS mostrato nella figura iniziale e si risponda alla **domanda** alla pagina seguente, riportando **una possibile sequenza di chiamate di sistema** che può avere generato la nuova situazione di VFS mostrata nella figura successiva. Il numero di eventi è esattamente 7 e questi sono eseguiti, nell'ordine, dai processi indicati.

Le sole chiamate di sistema usabili sono: **open** (nomefile, ...), **close** (numfd), **link** (oldfilename, newfilename), **read** (numfd, numchar).



sequenza di chiamate di sistema

#	processo	chiamata di sistema
1	P	<code>close (3)</code>
2	P	<code>open ("/dir1/file0", ...)</code>
3	Q	<code>close (3)</code>
4	Q	<code>read (2, 8)</code>
5	R	<code>close (2)</code>
6	R	<code>link ("/dir1/file2", "/dir2/file3")</code>
7	R	<code>open ("/dir2/file3", ...)</code>

Nota: gli eventi 3 e 4 sono commutabili, gli eventi 4 e 5 sono commutabili.