

Sistemi Operativi

Laurea in Ingegneria Informatica

Università Roma Tre

Docente: Romolo Marotta

I/O e file management

1. Obiettivi ed organizzazione moduli di I/O

I/O buffering

I/O e Disk scheduling

2. Concetto di file e file system

Operazioni su file e metodi di accesso

Directory

Allocazione

Accenni di file system in Unix e Linux

I/O management

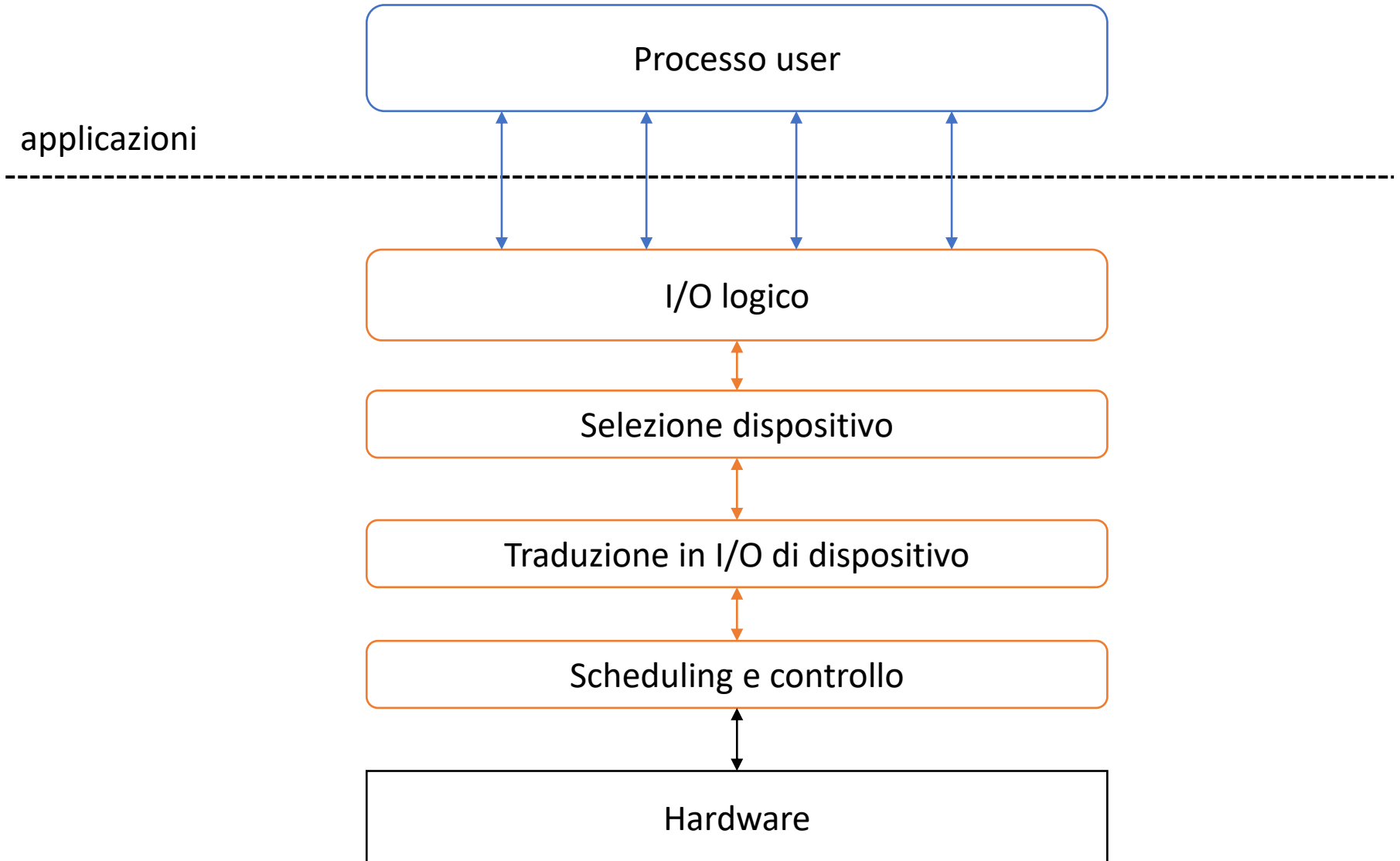
- Diversi tipi di dispositivi
 - Interazione con l'essere umano
 - Interazione con la macchina
 - Comunicazione tra macchine
- Caratteristiche differenti:
 - Applicazioni
 - Data rate
 - Controllo
 - Unità del trasferimento di dati
 - Rappresentazione del dato
 - Condizioni di errore
 - Gestione dei consumi

I/O management

Obiettivi:

- Efficienza
 - Tipicamente l'interazione con dispositivi di I/O è il collo di bottiglia
 - Multiprogrammazione allevia il problema, ma richiede swapping
 - Swapping richiede operazioni di I/O
- Generalità
 - Necessità di trattare i dispositivi in modo **uniforme**
 - Fornire servizi di I/O con interfacce standard (indipendenti dal tipo di dispositivo)
 - Progettazione gerarchica e modulare tesa a nascondere dettagli di basso livello

Modello di organizzazione moduli di I/O



I/O management

- Evoluzione delle funzioni di I/O
 - Programmed I/O
 - Processore **attende** la terminazione di comandi e **copia** dati da I/O a memoria
 - Interrupt-driven I/O
 - Processore **non attende** la terminazione di comandi e **copia** dati da I/O a memoria
 - Direct memory access
 - Processore **non attende** la terminazione di comandi e **non copia** dati da I/O a memoria

I/O buffering

L'I/O diretto su memoria dei processi ha implicazioni non banali:

- area destinata all'I/O non è swappabile
 - sottoutilizzo delle risorse
- area destinata all'I/O è swappabile
 - Deadlock
 - Processo bloccato in attesa di I/O e poi swappato
 - I/O in attesa che il processo sia riattivato
- I/O viene effettuato su memoria riservata al sistema operativo chiamato **buffer**
- L'utilizzo di buffer è in generale utile al fine di risolvere altre criticità:
 - Appianare la differenza di velocità tra produttore e il consumatore del dato
 - Appianare la differenza della taglia del dato che può essere maneggiata dal produttore e dal consumatore
 - Supportare la semantica di copia per l'I/O

I/O buffering

- No buffering

User process



- Single buffer

User process

Operating system



- Double buffer

User process

Operating system



- Circular buffer

User process

Operating system



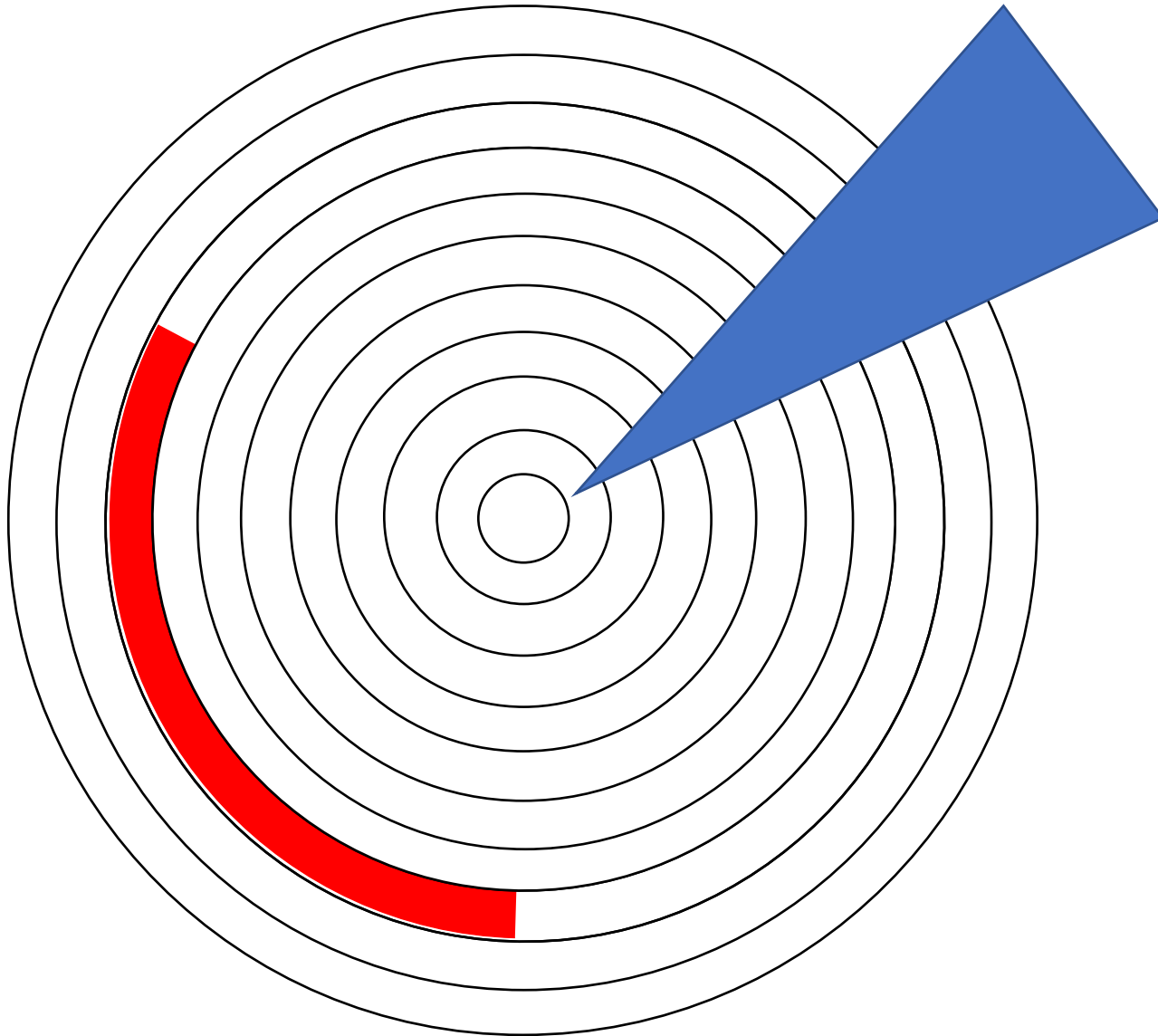
I/O scheduling

- Definisce la pianificazione per cui un dispositivo di I/O viene attivato per le sue operazioni
- In alcuni casi, mantenere l'ordine tra richieste di I/O e le effettive operazioni può essere necessario (e.g., terminale)
- FCFS non è necessariamente la soluzione più efficiente
 - Forte dipendenza dalle peculiarità dell'hardware caratteristico del dispositivo di I/O

Hard disk – caratteristiche salienti

- Ogni blocco è accessibile in lettura/scrittura ad ogni istante di tempo
- L'usura del dispositivo è essenzialmente legata all'usura delle parti meccaniche coinvolte
 - Non ci sono relazioni dirette tra operazioni di scrittura/lettura ed usura del dispositivo
 - Relazioni indirette tra operazioni ed usura
 - Per leggere/scrivere è necessario muovere la testina
- Tempo di accesso
 - Tempo di accodamento della richiesta
 - Tempo di acquisizione del canale di I/O (potrebbe essere condiviso con altri dispositivi)
 - Seek time: tempo per spostare la testina sulla traccia corretta
 - Ritardo di rotazione: tempo di rotazione per allineare l'inizio del settore di interesse alla testina
 - Tempo di trasferimento: tempo speso a ruotare il disco affinché tutto il settore venga letto dalla testina

Hard disk



Hard disk – Tempi di accesso

- Tempo di trasferimento
 - B =byte da trasferire
 - N =byte per traccia
 - R =tempo di rivoluzione
 - BR/N
- Ritardo di rotazione
 - in media occorre metà giro per posizionarsi sul settore corretto
 - Tipicamente il disco gira ad una velocità costante (da 5400rpm a 15000rpm)
 - Da 5.5ms a 2ms
- Seek time
 - in media occorre un terzo del full seek time (dalla traccia più interna a quella più esterna)
 - tipicamente nell'ordine dei millisecondi

Hard disk – Tempi di accesso

Ritardo di rotazione

- Perché metà giro è la distanza attesa per allinearsi al settore di interesse?
- Una volta che la testina raggiunge la traccia di interesse, l'inizio del settore può trovarsi ad una qualsiasi distanza angolare dalla testina
- In altre parole, la distanza angolare X è uniformemente distribuita tra 0 e l'angolo giro (2π)
 - $X \sim f(x) = \frac{1}{2\pi}$ per $x \in [0, 2\pi]$, 0 per $x \notin [0, 2\pi]$
 - $\mathbb{E}(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x) dx = \int_0^{2\pi} \frac{x}{2\pi} dx = \left[\frac{x^2}{4\pi} \right]_0^{2\pi} = \frac{4\pi^2}{4\pi} = \pi$

Hard disk – Tempi di accesso

Seek time

- Perché un terzo del full seek time è la distanza attesa per raggiungere la traccia di interesse?
- Si calcola come il rapporto tra la somma di tutte le distanze possibili tra due tracce (A) e il numero di movimenti distinti che la testina può effettuare (B)
- Sia N il numero di tracce del disco
- La traccia di partenza può essere scelta tra N
- La traccia destinazione può essere scelta tra N
- $B = N^2$

Hard disk – Tempi di accesso

- Data la traccia i , il numero di tracce $D(i, j)$ da attraversare per raggiungere una traccia j è

$$D(i, j) = |i - j|$$

- La somma di tutte le possibili distanze tra una specifica traccia i e una generica traccia j è

$$A_i = \sum_{j=1}^N D(i, j) = \sum_{j=1}^N |i - j|$$

- La somma di tutte le possibile distanze A è

$$A = \sum_{i=1}^N A_i = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |i - j|$$

$$\sum_{i=1}^N \left[\sum_{j=1}^i (i - j) + \sum_{j=i+1}^N (j - i) \right]$$

Hard disk – Tempi di accesso

Seek time

$$\sum_{i=1}^N \left[\sum_{j=1}^i (i-j) + \sum_{j=i+1}^N (j-i) \right]$$

$$\sum_{i=1}^N \left[\sum_{j=1}^i (i-j) + \sum_{j=1}^N (j-i) - \sum_{j=1}^i (j-i) \right]$$

$$\sum_{i=1}^N \left[\sum_{j=1}^i 2(i-j) + \sum_{j=1}^N (j-i) \right]$$

$$\sum_{i=1}^N \left[2i^2 - i(i+1) + \frac{N(N+1)}{2} - Ni \right]$$

$$\sum_{i=1}^N \left[i^2 - i + \frac{N(N+1)}{2} - Ni \right]$$

$$\frac{N(N+1)(2N+1)}{6} - \frac{N(N+1)}{2} + \frac{N^2(N+1)}{2} - \frac{N^2(N+1)}{2}$$

$$\frac{2N^3 + 3N^2 + N}{6} - \frac{N(N+1)}{2}$$

$$\frac{N^3}{3} - \frac{N}{12}$$

Hard disk – Tempi di accesso

Seek time

- Perché un terzo del full seek time è la distanza attesa per raggiungere la traccia di interesse?
- Il seek time atteso è

$$\frac{A}{B} = \frac{N^3}{N^2} = \frac{N}{3}$$

Hard disk – Accesso sequenziale

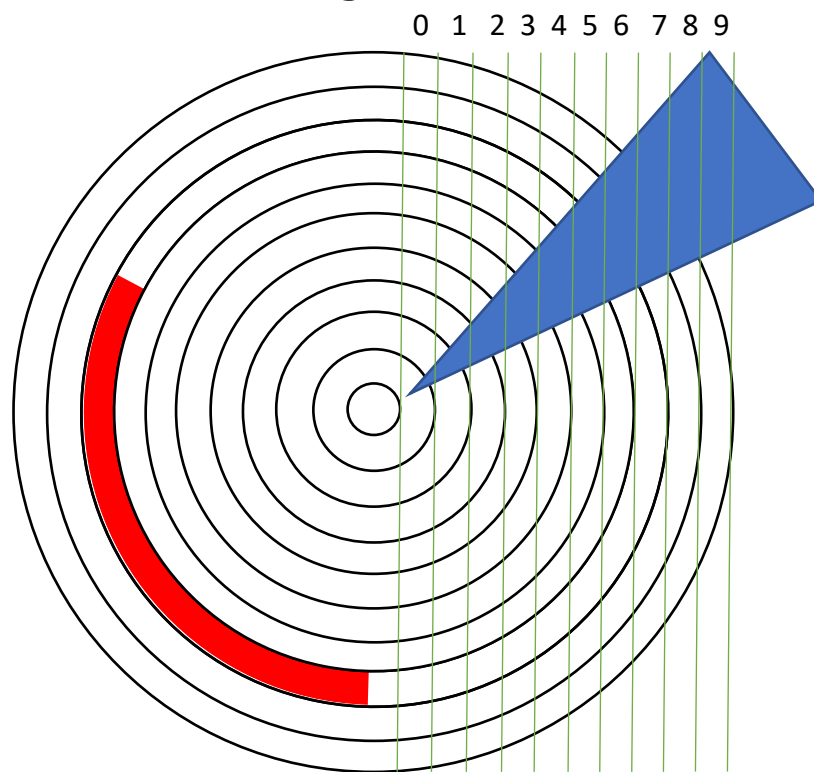
- Esempio
 - 500 settori per traccia
 - Average seek time = 4ms
 - Velocità di rotazione = 15000rpm = 250rps
 - Seek time per tracce adiacenti trascurabile
- Dati posizionati su 5 tracce consecutive
 - Tempo di rivoluzione = 4ms
 - Tempo di trasferimento = $5 \times (\text{tempo di rivoluzione}) = 20\text{ms}$
 - Tempo di seek = 4ms (da considerare una sola volta)
 - Ritardo di rotazione complessivo = $5 \times (\text{tempo di rivoluzione}) / 2 = 10\text{ms}$
 - Tempo totale per l'accesso = $20\text{ms} + 10\text{ms} + 4\text{ms} = 34\text{ms}$

Hard disk – accesso casuale

- Esempio
 - 500 settori per traccia
 - Average seek time = 4ms
 - Velocità di rotazione = 15000rpm = 250rps
 - Seek time per tracce adiacenti trascurabile
- Dati posizionati su 2500 settori non consecutivi
 - Tempo di rivoluzione = 4ms
 - Tempo di trasferimento = $5 \times (\text{tempo di rivoluzione}) = 20\text{ms}$
 - Tempo totale di seek = $2500 \times (\text{tempo di seek}) = 10\text{s}$
 - Ritardo di rotazione complessivo = $2500 \times (\text{tempo di rivoluzione}) / 2 = 5\text{s}$
 - Tempo totale per l'accesso = $20\text{ms} + 10\text{s} + 5\text{s} = 15.02\text{s}$

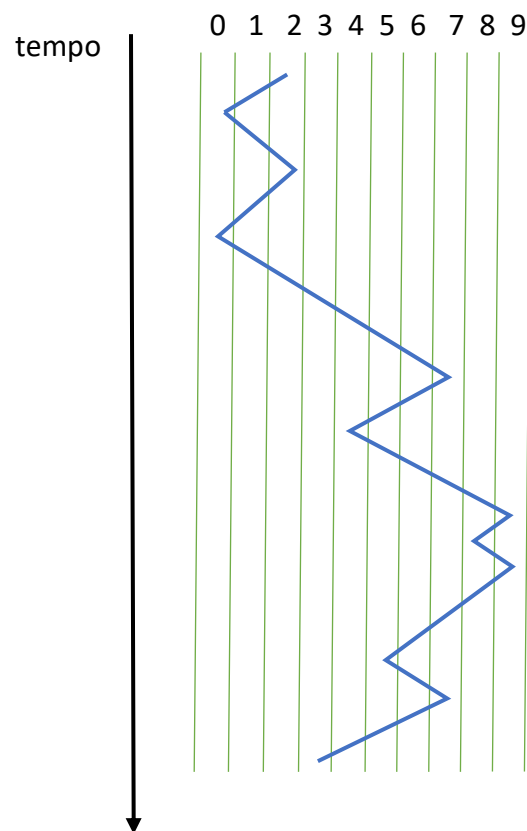
Disk scheduling

- Minimizzare i movimenti meccanici è un aspetto cruciale per massimizzare le performance di accesso a disco
- Seek time è oggetto di numerosi algoritmi di ottimizzazione
- Metodologia
 - Esecuzione sintetizzata come una sequenza di richieste identificate dal numero di traccia
- Metrica
 - numero di tracce complessivamente attraversate



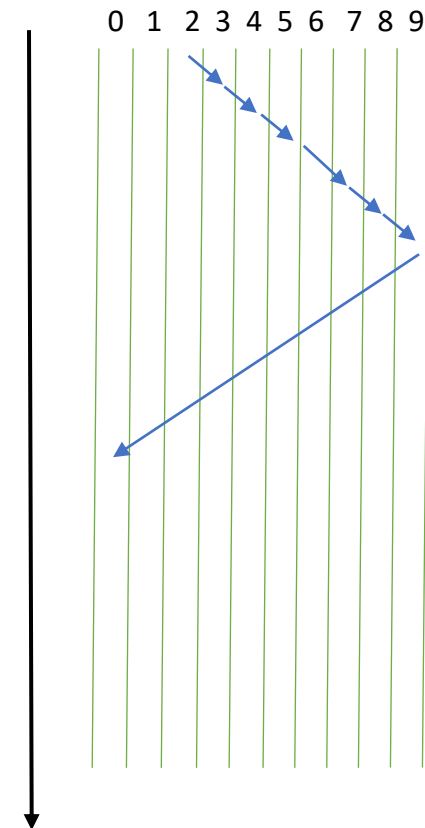
Disk scheduling

- Richieste:
 - 0,2,0,7,4,9,8,9,5,7,3
 - Posizione iniziale: 2
- FCFS
 - Richieste servite nell'ordine di arrivo
 - No starvation
 - Non minimizza seek time
 - Movimenti totali della testina: 32



Disk scheduling

- Richieste:
 - 0,2,0,7,4,9,8,9,5,7,3
 - Posizione iniziale: 2
- Shortest-serve-time-first (SSTF)
 - Seleziona la traccia successiva che minimizza il seek time
 - 2,3,4,5,7,7,8,9,9,0,0
 - Movimenti totali della testina: 16
 - Starvation
 - Non minimizza seek time

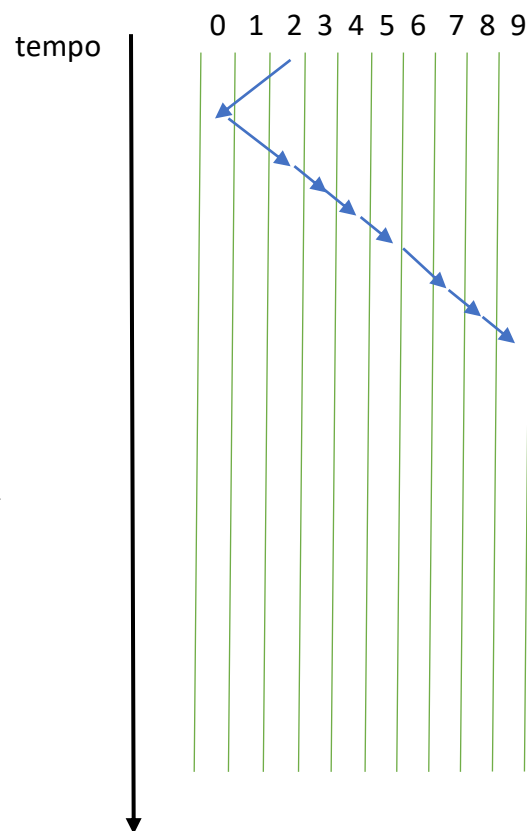


Disk scheduling

- Richieste:
 - 0,2,0,7,4,9,8,9,5,7,3
 - Posizione iniziale: 2, direzione decrescente

- SCAN (elevator)

- Il seek avviene in una data direzione fino a che non ci sono più richieste lungo in quella direzione
- 0,0,2,3,4,5,7,7,8,9,9
- Movimenti totali della testina: 11
- Performance simili a SSTF
- Sfavorisce tracce servite in precedenza
- Favorisce tracce agli estremi
- Starvation



Disk scheduling

- SCAN (elevator)
 - Sfavorisce tracce servite in precedenza
 - Favorisce tracce agli estremi
 - Starvation
- CSCAN
 - Le richieste vengono soddisfatte in un'unica direzione
 - Starvation
- FSCAN
 - Due code per la gestione delle richieste
 - Una coda viene usata per lo scheduling secondo SCAN
 - Nuove richieste vengono inserite in una coda di richieste pendenti
 - Quando la coda di scheduling corrente è vuota, le due code vengono scambiate

Disk scheduling

- Gli algoritmi mostrati si focalizzano sul seek time
- Nei dischi moderni
 - il seek time è comparabile con il tempo di rotazione
 - non mostrano la posizione fisica del dato
- I produttori implementano algoritmi di scheduling nel controller del disco tesi a minimizzare sia seek time che ritardi di rotazione
- Il sistema operativo può delegare al controller se l'unico obiettivo è la performance
- Tuttavia, esistono scenari in cui alcune richieste sono prioritarie rispetto ad altre

Solid state drives

- Basati su tecnologia flash
- Le scritture deteriorano le celle flash
 - Erase
 - Program
 - La vi
- La tecnologia NAND:
 - notevole densità (byte per chip)
 - Asimmetria tra unità di erase (blocco=N pagine) e program (pagina)
- Le pagine vengono gestite dal controller all'interno dell'unità SSD al fine di garantire **wear leveling**
 - I dati vengono spostati al fine di controllare operazioni di erase
- Nascondono al sistema operativo la posizione fisica dei dati
- I sistemi operativi:
 - Spesso adottano politiche di scheduling semplici (FCFS)
 - Devono notificare la cancellazione dei dati

Operazioni di I/O logico

- Necessità di astrarre dalle peculiarità del dispositivo
- Si basano su modelli di riferimento
 - Stream I/O
 - Block I/O
- Le interfacce (system call) esistono in relazione ad oggetti logici
- Per interagire con un oggetto è necessario aprire un canale di I/O
- Il sistema operativo mantiene informazioni di sessione che permettono di relazionare operazioni susseguenti sull'oggetto
- Il trasferimento di dati da/verso oggetti logico **può** riflettersi su attività che coinvolgono dispositivi hardware (e.g., disco o interfacce di rete)

File system

Concetto di file

- File: minima unità informativa archiviabile
- Il ciclo di vita di un file è scorrelato dal ciclo di vita del processo che lo ha creato
- Se il file è archiviato su un dispositivo di memoria non volatile (e.g., disco, ssd), allora il ciclo di vita del file può includere molteplici riavvii della macchina
- Un file è costituito da un insieme di record
- Un record è l'unità minima manipolabile da un'applicazione all'interno di un file

File system

- Il file system è il modulo di sistema operativo per gestire file
- Associa ad un file una serie di attributi:
 - Nome
 - Timestamp (creazione, modifica)
 - Protezione (chi può accedervi e con quali modalità)
- Gli attributi sono memorizzati in un Record di Sistema disgiunto dal file

Operazioni su file

Creazione

- Allocazione del record di sistema e inizializzazione del file

Eliminazione

- Deallocazione del record di sistema e rilascio di tutti i record allocati per il file di interesse

Apertura

- Inizializzazione di una sessione e di un relativo indice per accessi al file nella sessione

Chiusura

- Distruzione della sessione, dei suoi metadati e dell'indice

Scrittura/Lettura

- Accesso a partire dal record a cui l'indice fa riferimento

Riposizionamento (seek)

- Aggiornamento dell'indice

Troncamento

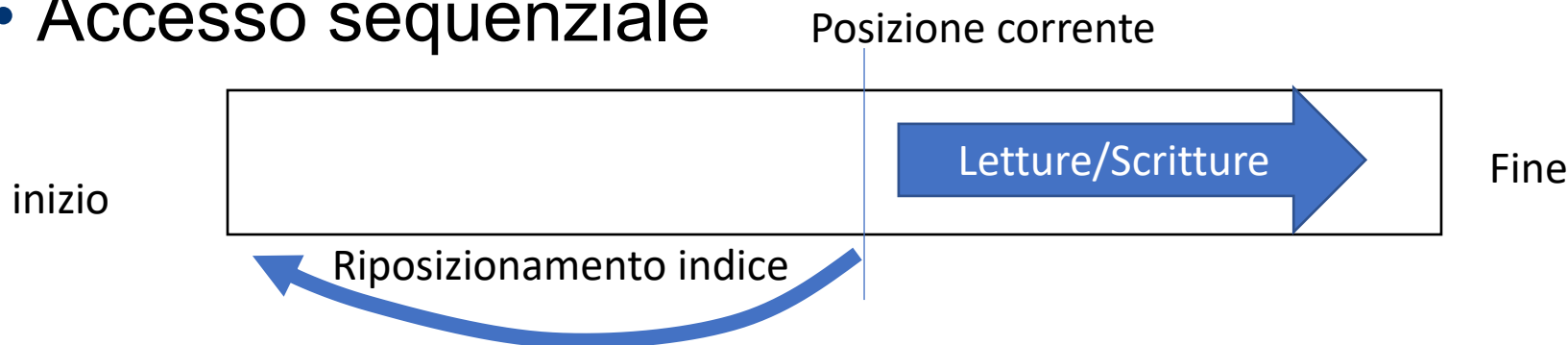
- Distruzione di record del file

Indice di accesso

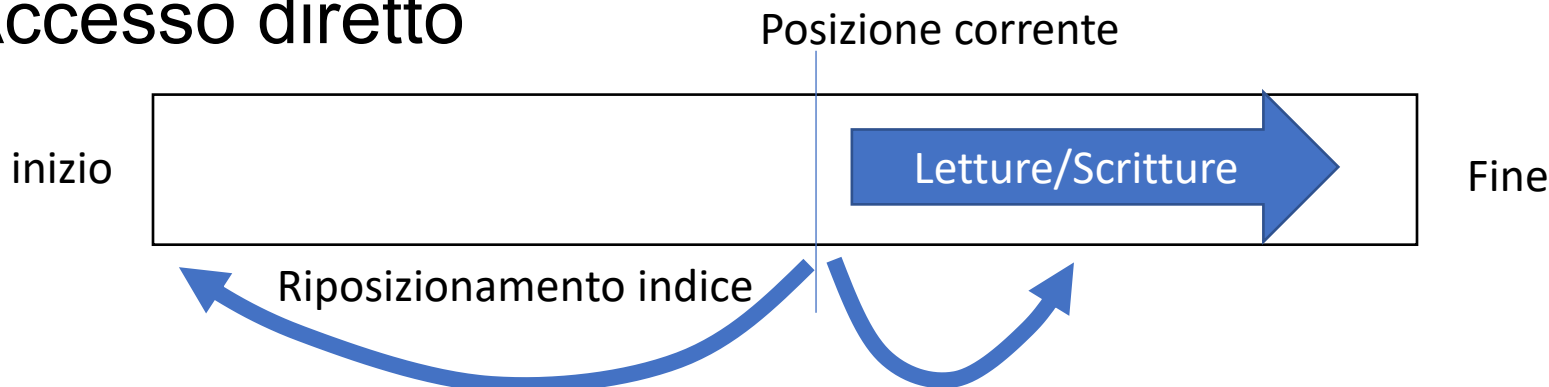
- Anche chiamato file pointer
- È un concetto di sessione
 - Non fa parte del record di sistema
- Una sessione può essere condivisa tra processi
 - Non è incluso nell'immagine di processo
- È memorizzato in una immagine di sessione
 - Struttura dati utilizzata per memorizzare tutti i metadati necessari alla gestione di accessi nell'ambito della sessione
- La modalità di aggiornamento dell'indice dipende dalle modalità di accesso ai record supportati dal file system

Metodi di accesso

- Accesso sequenziale



- Accesso diretto



- Accesso indicizzato

- Grazie all'accesso diretto è possibile costruire indici per individuare specifici blocchi identificati da una chiave di ricerca all'interno del file

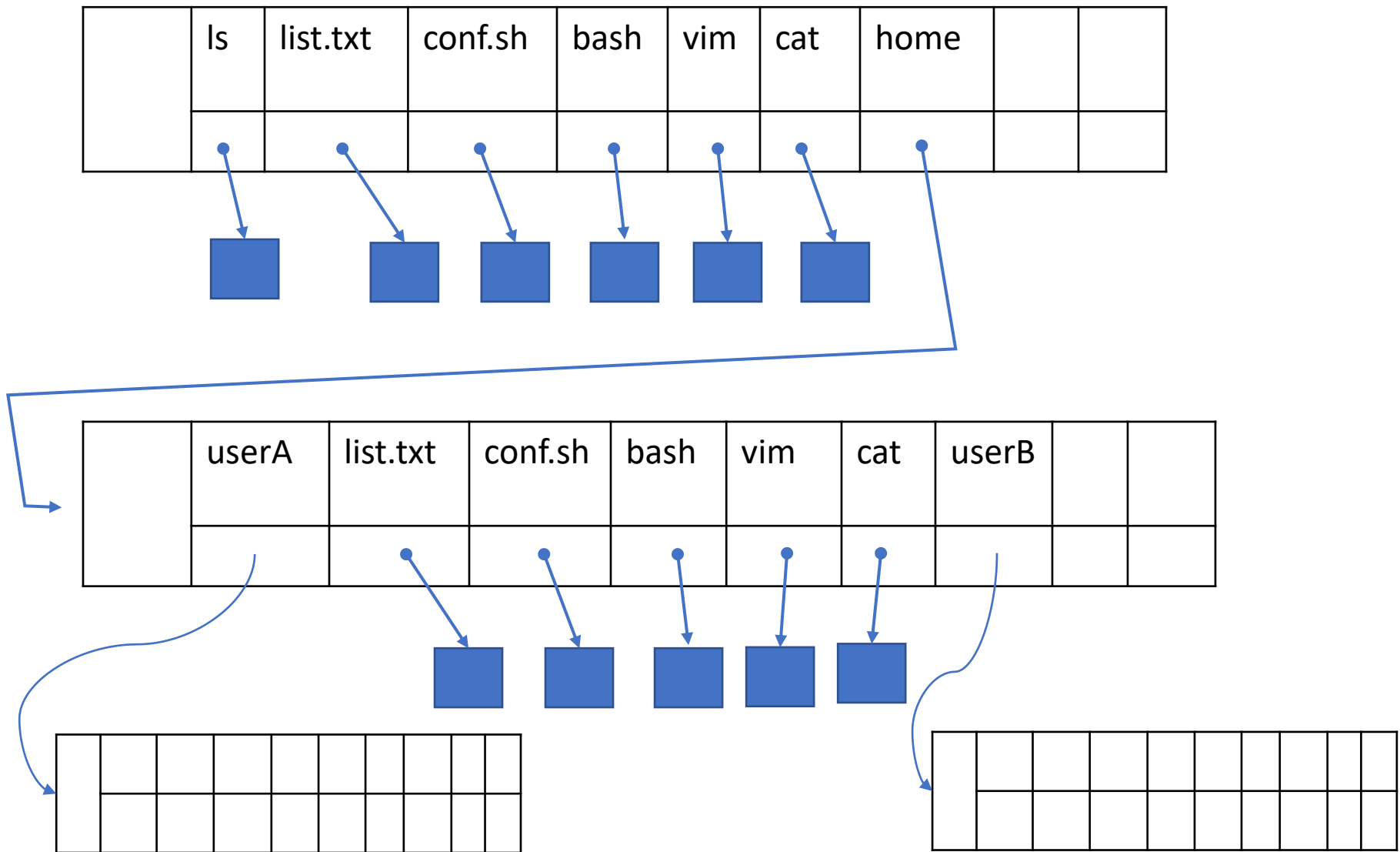
Directory

- Data un'area in cui è possibile archiviare file, il relativo file system si preoccupa di
 - Gestire l'area
 - Gestire i file in essa contenuti
- Nell'area di archivio esistono:
 - File
 - Record di Sistema
- Come ottenere l'elenco dei file archiviati in una determinata area?
 - Scansione di tutta l'area di archivio ed individuazione dei record di sistema (inefficiente)
 - Utilizzare un apposito record/file, chiamato directory, in cui memorizzare:
 - Nome del file
 - Relativo Record di sistema

Directory e gerarchie

- Data una directory, questa può contenere un solo file con un dato nome
 - Pros: semplice
 - Cons: nessuna libertà nel raggruppare e/o nominare file
- Il problema può essere risolto con una rappresentazione gerarchica delle directory
 - Albero di directory
- Una directory mantiene l'associazione tra:
 - Nome e Record di sistema (quindi file)
 - Nome e sottodirectory

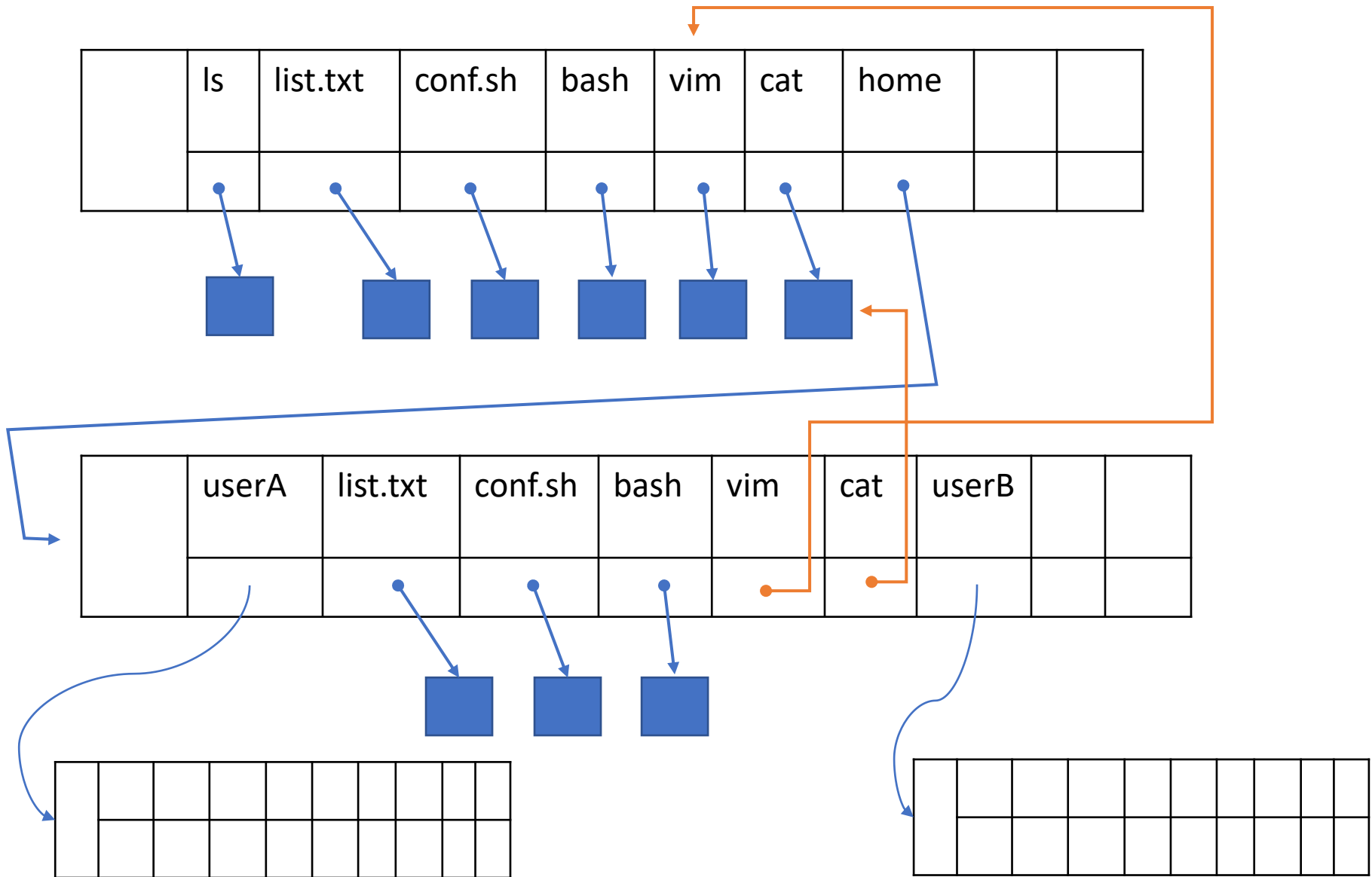
Directory e gerarchie



Directory e gerarchie

- Directory ad albero (tree-structured directory):
 - Offrono flessibilità nell'organizzare i file
 - Non possono supportare condivisione fisica di file
- Directory a grafo aciclico
 - Un Record di sistema può esser referenziato (direttamente o indirettamente) a partire da più directory

Directory e gerarchie



Directory e gerarchie

- Directory ad albero (tree-structured directory):
 - Offrono flessibilità nell'organizzare i file
 - Non possono supportare condivisione fisica di file
- Directory a grafo aciclico
 - Un Record di sistema può essere referenziato (direttamente o indirettamente) a partire da più directory
 - Una directory può essere referenziata da più directory
 - Reference count
- Directory a grafo
 - Navigazione del grafo non banale (necessario identificare cicli)
 - Garbage collection al fine di individuare file/directory non raggiungibili

Accesso e protezione

- A file e directory sono associate informazioni di protezione
 - Quali tipi di accesso sono consentiti:
 - Scrittura
 - Lettura
 - Esecuzione
 - Per quali utenti:
 - Proprietario
 - Gruppo
 - Altri
- Access control list
 - Lista di coppie <utente,permessi> per uno specifico file

Allocazione su storage

- Tipicamente l'unità di lettura/scrittura su memorie di massa è orientata al **blocco** (N byte)
- Come allocare i blocchi in un dispositivo per ospitare un file la cui taglia richiede più blocchi?
 - Allocazione contigua
 - Allocazione a catena (linked allocation)
 - Allocazione a indice

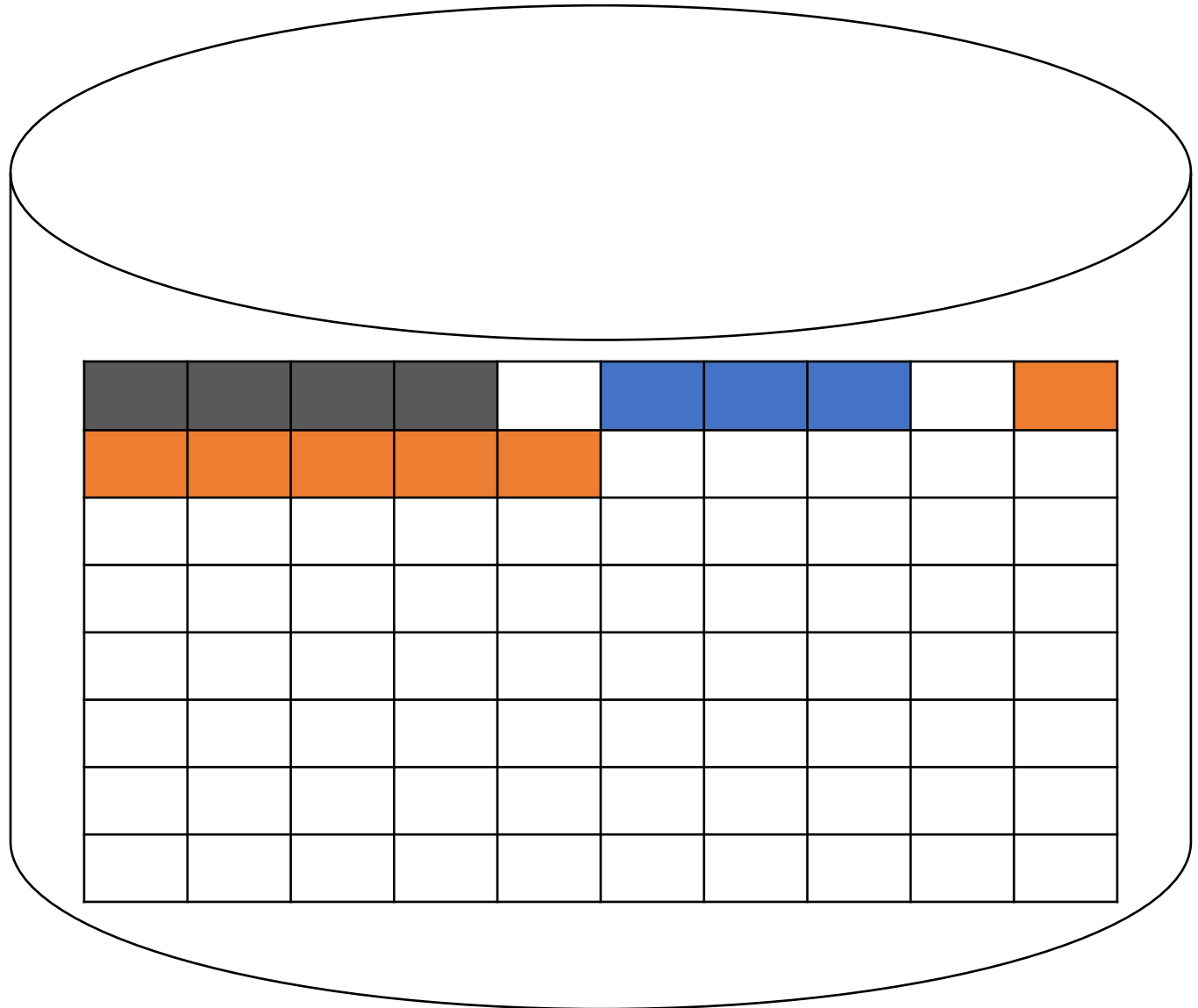
Allocazione contigua

Record di sistema

FileA 0,4

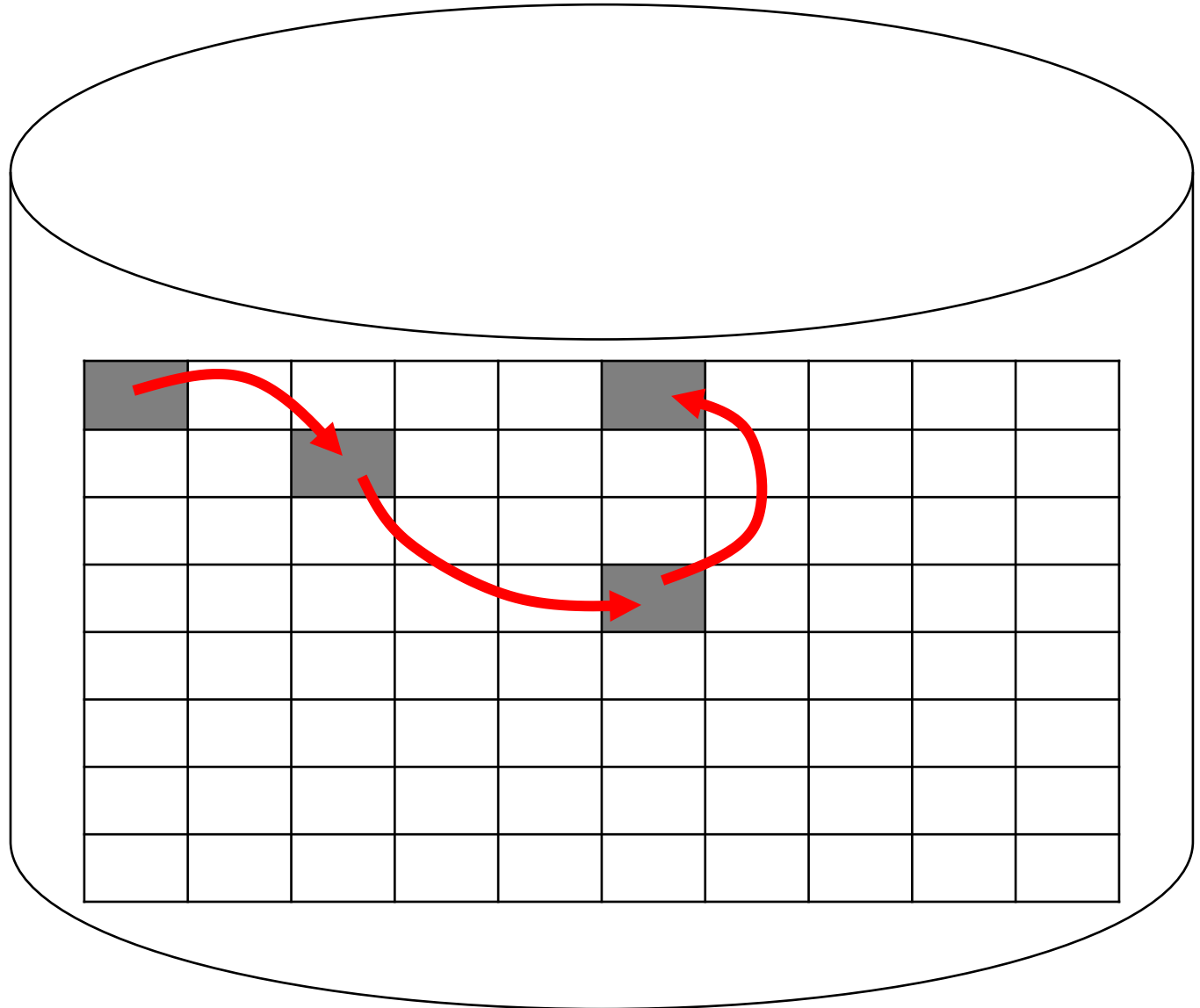
FileB 5,3

FileC 9,6



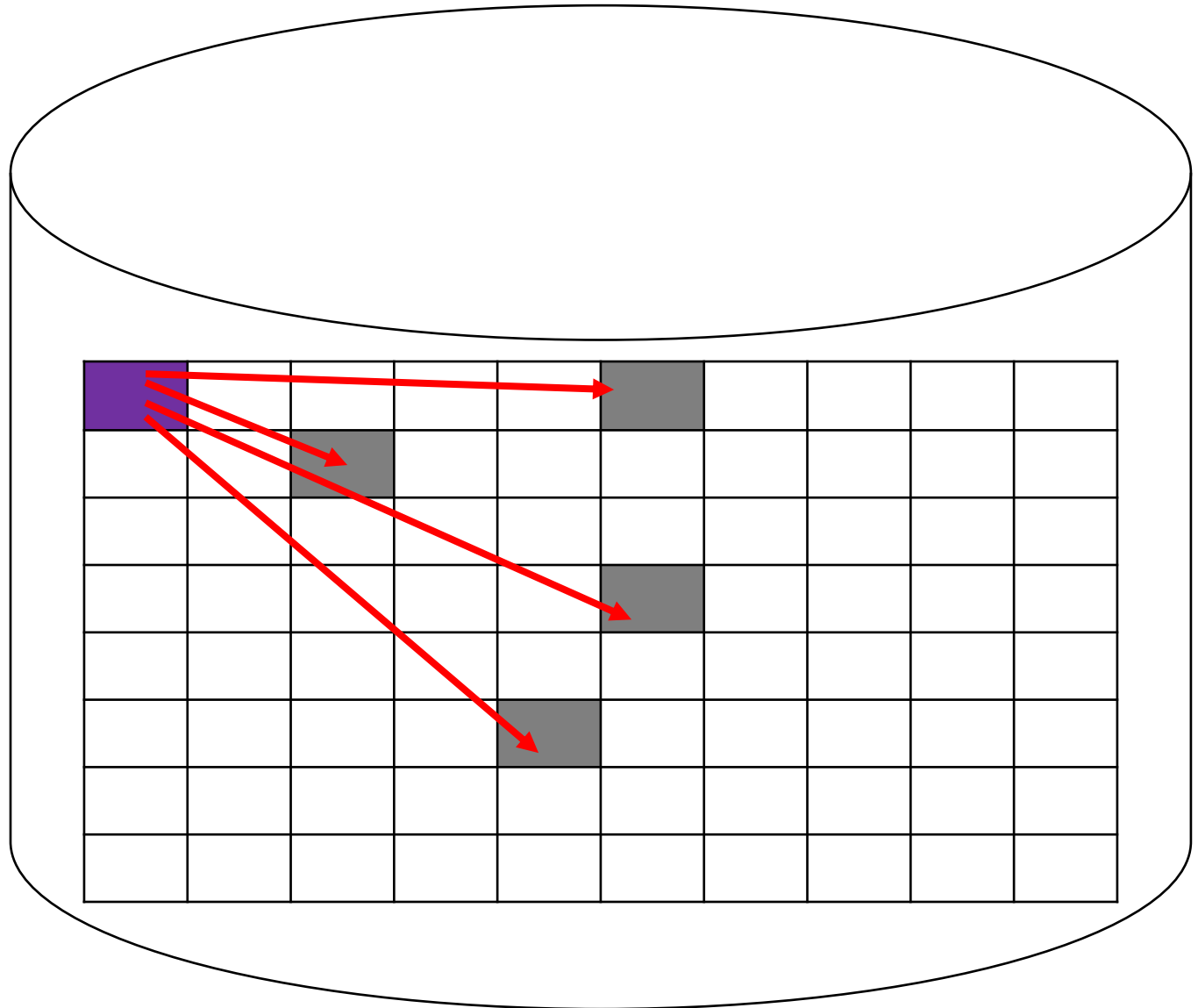
Allocazione a catena

Record di sistema
FileA 0



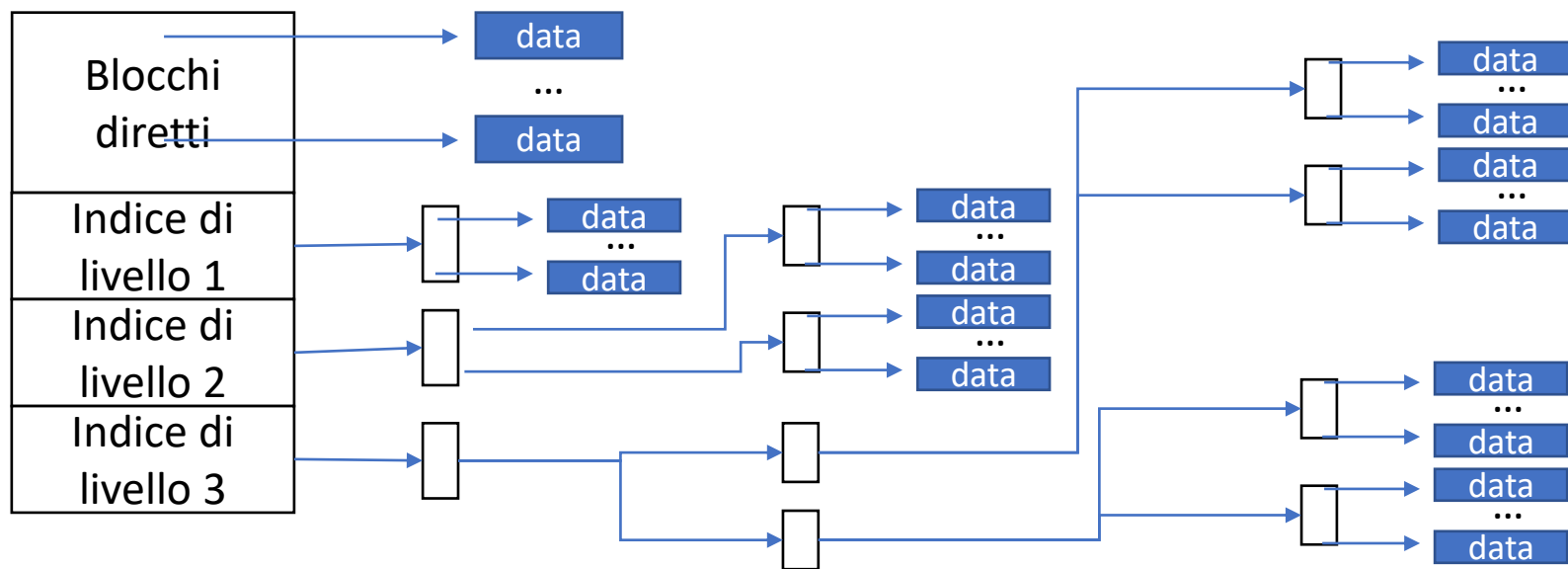
Allocazione indicizzata

Record di sistema
FileA 0



File system UNIX

- Un file è uno stream di byte (taglia di un record pari ad 1 byte)
- Accesso diretto
- Record di sistema chiamato **inode**
- Allocazione indicizzata a livelli multipli



Attributi UNIX

- Tipo di file:
 - - : file regolare
 - d : directory
 - l : link simbolico
 - b : block device
 - c : char device
- Identificatore utente e gruppo proprietari
- Permessi di accesso
 - r (4) lettura
 - w(2) scrittura
 - x(1) esecuzione
- Attributi “speciali”
 - Specifica di identificazione dinamica
 - SUID
 - SGID
 - Sticky bit (solo per directory)
 - Rimuove la possibilità di cancellare file all'interno della non di cui non si è owner

Servizi per accesso a File

- `int open(char *file_name, int option_flags [, int mode])`
 - invoca la creazione/apertura di un file
 - Argomenti
 1. `*file_name`: puntatore alla stringa di caratteri che definisce il nome del file da aprire
 2. `option_flags`: specifica la modalita' di apertura (read, write etc.)
 3. `mode` (opzionale): specifica i permessi per owner, group, others in caso di creazione contestuale ad apertura
 - Restituzione
 - -1 in caso di fallimento,
 - un descrittore per l'accesso al file
- `int close(int descriptor)`
 - invoca la chiusura di un file tramite descrittore
 - Restituzione -1 in caso di fallimento

Servizi per accesso a File

- **O_RDONLY**: apertura del file in sola lettura;
- **O_WRONLY**: apertura del file in sola scrittura;
- **O_RDWR**: apertura in lettura e scrittura;
- **O_APPEND**: apertura del file con puntatore alla fine del file; ogni scrittura sul file sarà effettuata a partire dalla fine del file;
- **O_CREAT** : crea il file con modalità d'accesso specificate da mode solo se esso stesso non esiste;
- **O_TRUNC** : elimina il contenuto del file se esso già esistente.
- **O_EXCL** : (exclusive) serve a garantire che il file sia stato effettivamente creato dalla chiamata corrente.

Servizi per accesso a File

- `ssize_t read(int descriptor, char *buffer, size_t size)`
- `ssize_t write(int descriptor, char *buffer, size_t size)`
- `off_t lseek(int fildes, off_t offset, int whence);`
 - `SEEK_SET`
 - `SEEK_CUR`
 - `SEEK_END`

File descriptor

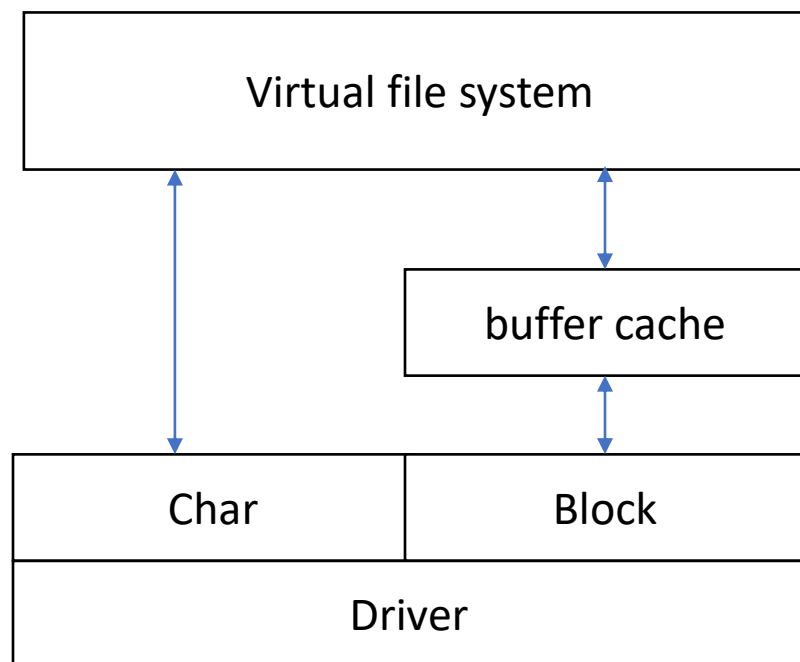
- Alcuni descrittori particolari:
 - 0: standard input
 - 1: standard output
 - 2: standard error
 - Associati a specifici dispositivi di I/O
- I descrittori vengono ereditati da processi creati tramite fork
- Duplicazione di descrittori
 - `int dup(int descriptor)`
 - `int dup2(int oldfd, int newfd)`

Altri servizi di gestione

- Link:
 - hard: `int link(const char *oldpath, const char * newpath)`
 - soft: `int symlink(const char *oldpath, const char *newpath)`
- Directory:
 - `int mkdir(const char *pathname, mode_t mode)`
 - `int rmdir(const char *pathname)`
- Permessi
 - `int chmod(const char *path, mode_t mode);`
 - `int fchmod(int fildes, mode_t mode);`
- Proprietà
 - `int chown(const char *pathname, uid_t owner, gid_t group);`
 - `int fchown(int fd, uid_t owner, gid_t group);`

I/O in sistemi UNIX

- I dispositivi sono gestiti come file
- Inode possono essere associati a dispositivi
- Le effettive operazioni dipendono dall'entità associata all'inode



Altri servizi offerti da file system

- File locking
 - utile per limitare il numero di processi concorrenti che possono manipolare il file
 - Diversi approcci
 - mandatory (Windows)
 - advisory (UNIX via fcntl)
- Gestione di errori
 - Controlli di consistenza
 - Rileva eventuali problematiche (e.g., non allineamenti tra metadati e directory)
 - Alcune inconsistenze potrebbero essere irreparabili
 - Journaling
 - creazione di log delle attività su file system (transazioni)
 - all'occorrenza replay/abort delle transazioni

In-memory file system (Linux)

- ramdisk
 - creazione di un dispositivo a blocchi sintetico, su cui è installato un file system noto
 - spreco di memoria e cpu-clock
 - e.g., ai dispositivi a blocchi viene associata una RAM cache
- ramfs
 - File system che sfrutta il meccanismo di RAM cache verso il disco
 - I blocchi in cache non vengono mai riportati su disco
 - I blocchi sono sempre marcati come dirty per evitarne il replacement da algoritmi di VM
 - La memoria dedicata non è swappabile
 - Non è possibile specificare una taglia massima
- tmpfs
 - come ramfs ma swappabile ed è possibile specificare taglia massima

File management in C - Esempio 1

```
#include <stdio.h>
#include <fcntl.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#define BUFSIZE 250
#define abort(msg) do{printf(msg);exit(1);}while(0)

int main(int argc, char *argv[]) {
    int ifd, ofd, size_r, size_w, written = 0, end = 0;
    char buffer[BUFSIZE];

    /* check parameters */
    if (argc != 3) abort("usage: copy <source> <target>\n");

    /* open the input file and check errors */
    ifd=open(argv[1],O_RDONLY);
    if (ifd == -1) abort("input open error\n");
```

File management in C - Esempio 1

```
/* open output file and check errors */
ofd=open(argv[2],O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC,0660);
if (ofd == -1) abort("output creation error\n");
while(!end){
    /* read up to BUFSIZE from input file and check errors */
    size_r=read(ifd,buffer,BUFSIZE);
    if (size_r == -1) abort("read error\n");
    /* has EOF been reached? */
    end = size_r == 0;
    /* write BUFSIZE to destination file */
    size_w = write(ofd,buffer,size_r);
    if (size_w == -1) abort("write error\n");
    printf("written: %d\n", size_w);
}
/* close file descriptors */
close(ifd);
close(ofd);
}
```

File management in C - Esempio 2

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
#define FILE_NAME "log.txt"
#define STDOUT 1
#define abort(msg) do{printf(msg);exit(1);}while(0)
int main() {
    int ofd;
    /* open output file and check errors */
    ofd=open(FILE_NAME,O_WRONLY|O_CREAT|O_TRUNC,0660);
    if (ofd == -1) abort("output creation error\n");
    close(STDOUT); /* close standard output */
    ofd = dup(ofd); /* duplicate file descriptor */
    if (ofd == -1) abort("dup failed\n");
    execlp("ls","ls",NULL); /* run 'ls' */
}
```


File management in C - Esempio 3 (prod_cons.h)

```
#ifndef __PROD_CONS__
#define __PROD_CONS__
#define SHARED_SIZE 4096
#define SHARED_NAME "prod_cons_shm"
#define MSG_SIZE 255
#define MSG_SIZE_RAW 256
#define log(...) do{printf("[%d]:", getpid()); printf(__VA_ARGS__);}while(0)
#include <pthread.h>
typedef struct __shared_data{
    pthread_barrier_t barrier;
    pthread_mutex_t mutex;
    void *prod_base_addr;
    pid_t prod_pid;
    pid_t cons_pid;
    char message[256];
}shared_data_t;
#endif
```

File management in C - Esempio 3 (prod.c)

```
#include <sys/mman.h>
#include <sys/stat.h>          /* For mode constants */
#include <fcntl.h>            /* For O_* constants */
#include <unistd.h>           /* For truncate */
#include <stdio.h>            /* For printf */
#include "prod_cons.h"

int main(int argc, char *argv[]){
    shared_data_t *shared_data;
    pid_t pid = getpid();
    int fd = shm_open(SHARED_NAME, O_CREAT | O_EXCL | O_RDWR, 0666);
    ftruncate(fd, SHARED_SIZE);
    shared_data = mmap(NULL, SHARED_SIZE, PROT_READ | PROT_WRITE,
                        MAP_SHARED, fd, 0);

    close(fd);
    // init barrier, mutex and shared_data
```

File management in C - Esempio 3 (prod.c)

```
log("I'll WAIT for a process at %p\n", shared_data);  
pthread_mutex_lock(&shared_data->mutex);  
pthread_barrier_wait(&shared_data->barrier);  
  
log("Process %d arrived\n", shared_data->cons_pid);  
log("I'll produce data...\n");  
sprintf(shared_data->message, "Nice to meet you");  
log("Done\n");  
  
pthread_mutex_unlock(&shared_data->mutex);  
}
```

File management in C - Esempio 3 (cons.c)

```
#include <sys/mman.h>
#include <sys/stat.h>          /* For mode constants */
#include <fcntl.h>            /* For O_* constants */
#include <stdio.h>            /* For printf */
#include "prod_cons.h"

int main(int argc, char *argv[]){
    shared_data_t *shared_data, *desired, *old_ptr;
    pid_t pid = getpid();
    int fd = shm_open(SHARED_NAME, O_RDWR, 0666);
    if(fd == -1) {log("shared mem not initialized\n");exit(1);}
    shared_data = mmap(NULL, SHARED_SIZE, PROT_READ | PROT_WRITE,
                                                                MAP_SHARED, fd, 0);
    log("shared_data cons address %p\n", shared_data);
    log("shared_data prod address %p\n", shared_data->prod_base_addr);
    close(fd);
}
```

File management in C - Esempio 3 (cons.c)

```
log("I'll JOIN for a process at %p\n", shared_data);  
shared_data->cons_pid = pid;  
pthread_barrier_wait(&shared_data->barrier);  
log("Joined. prod pid %d:\n", shared_data->prod_pid);
```

```
pthread_mutex_lock(&shared_data->mutex);  
log("I'll consume data...\n");  
log("Message: '%s'\n", shared_data->message);  
log("Done\n");  
pthread_mutex_unlock(&shared_data->mutex);
```

```
shm_unlink(SHARED_NAME);
```

```
}
```