Struttura interna dei sistemi operativi unix-like

Il file system

Revisione dell'11 Aprile 2005

File System

- Il file system è il componente del sistema operativo che realizza i servizi di gestione dei file
  - file: unità di archiviazione in memoria di massa.
- Il file system rappresenta quindi la struttura logica della memoria di massa (organizzazione e memorizzazione dei file) ed è costituito da un insieme di funzioni di sistema operativo e dalle relative strutture dati di supporto.
- Le astrazioni fornite dal file system sono:
  - File, link e operazioni sui file
  - Directory e file speciali
  - Attributi e politiche di accesso
  - Mapping del file system logico sui dispositivi fisici

Bibliografia

- Informazioni accurate e aggiornate fino al kernel 2.4 sono disponibili nel seguente testo:

  Daniel P. Bovet, Marco Cesati,

  Understanding the Linux Kernel,

  O'Reilly

  - capitoli 12 (VFS) e 17 (ext2fs)
  - si può leggere online al seguente indirizzo http://www.oreilly.com/catalog/linuxkernel/

File

- Il concetto di *file* è una visione logica omogenea delle informazioni memorizzate.
  - La visione non dipende dal tipo di dispositivo fisico su cui le informazioni vengono memorizzate
- Un *file* è costituito da:
  - una sequenza di byte,
    che rappresenta informazioni omogenee;
  - un nome simbolico;
  - un insieme di attributi.
- Nei sistemi operativi unix-like, un *file* può
  - contenere dati o programmi (file regolare)
  - contenere riferimenti ad altri file (directory)
  - rappresentare un dispositivo (file speciale)

File

- Nome:
  - nome simbolico, univoco nella sua directory, con cui ci si riferisce ad esso
- Attributi:
  - *Tipo*: definisce il tipo dei dati contenuti (estensione del nome, opzionale)
  - *Locazione (implicito):* è un riferimento alla posizione fisica sul dispositivo
  - *Dimensione*: dimensione dei dati espressa in byte o blocchi
  - *Protezione*: definisce le politiche di gestione degli accessi
  - *Ora e Data*: indicano il momento della creazione, ultima modifica o ultimo accesso
  - *Proprietario*: indica l'utente e il gruppo che possiedono il file

Funzioni per la gestione dei file

- Sui file possono essere compiute diverse operazioni, che vengono svolte attraverso richieste di servizi al sistema operativo, invocabili da programma:
  - creazione;
  - apertura;
  - scrittura;
  - lettura;
  - riposizionamento;
  - cancellazione;
  - …

Funzioni per la gestione dei file

- Per operare su un file è necessario:
  - aprirlo, se il file esiste già
  - crearlo (cioè inserirlo nel file system), se il file non esiste

- Le funzioni di apertura e creazione richiedono come parametro il nome del file e restituiscono un *intero non negativo* che identifica il descrittore del file

- Le funzioni di lettura e scrittura, e altre ancora, usano come riferimento il descrittore del file e operano su sequenze di byte a partire da un byte specifico, la cui posizione è contenuta dall'indicatore di posizione corrente

Funzioni per la gestione dei file

- L'immagine del file system è memorizzata in memoria di massa (vedremo più avanti come)
- Per rendere più efficienti gli accessi a file, il sistema operativo mantiene in memoria centrale una parte delle strutture dati per gestire i file. Al momento interessa mettere in evidenza:
  - Tabella dei file aperti per ogni processo
    - è un vettore che contiene alcune informazioni sui file aperti da un certo processo. Il descrittore del file agisce da indice del vettore;
    - è contenuta nel process descriptor
  - Tabella globale dei file aperti nel sistema
    - in realtà in Linux non esiste così come la descriviamo, esiste la *dcache* (directory entry cache);
    - è un vettore che contiene un elemento per ogni file aperto nel sistema. Ogni elemento viene referenziato tramite gli elementi delle tabelle dei file aperti dei processi e contiene, tra le altre cose, il contatore di uso del file, la posizione corrente e un riferimento al file su disco

Linguaggio C, file e sistema operativo

- Il linguaggio C dispone di una libreria standard di ingresso e uscita (<stdio.h>), che definisce le funzioni C per le operazioni sui file (fopen, fread, fwrite, fclose, fputs, fgets etc.);
- Il concetto di file fornito dal linguaggio C si chiama *stream;* il tipo di dato associato è un puntatore ad una struttura interna della C runtime library:

  FILE * file_pointer
- Le funzioni C operano su stream e invocano internamente i servizi messi a disposizione dal sistema operativo;
- Le implementazioni delle funzioni C su un certo sistema operativo definiscono le modalità di chiamata dei servizi di sistema e il legame tra stream e descrittori di file;
- Attenzione: fopen e simili possono avere comportamenti differenti da un sistema operativo ad un altro (ad es. Unix System V e Linux).

Creazione - `creat()`

Permette di aggiungere un nuovo file al file system

- Le operazioni richieste sono:
  - allocare lo spazio su disco;
  - creare il nuovo descrittore del file;
  - aggiungere il descrittore al file system
  - modifiche conseguenti nella tabella dei file aperti dal processo e nella tabella globale dei file aperti
- Uso:

```
int creat (char * name, int mode)
```

  - mode: indica i permessi da impostare (maschera di costanti S_Ixxx).

Apertura - `open()`

- Sulla base del nome individua la posizione del file sul disco.
- Copia il descrittore del file nella tabella globale dei file aperti.
- Aggiorna la prima voce libera nella tabella dei file aperti dal processo e restituisce il suo indice (il descrittore)
- Uso:

```
int open(char * name, int flags, int mode)
```

  - flags indica il tipo di accesso richiesto:
    - O_RDONLY: il file viene aperto in sola lettura
    - O_WRONLY: il file viene aperto in sola scrittura
    - O_RDWR: il file viene aperto in lettura e scrittura
    - O_CREAT: il file viene creato se non esiste
    - ...
  - mode indica i permessi da impostare nel caso in cui il file non esista e debba essere creato (maschera di costanti S_Ixxx)

Scrittura - `write()`

- Aggiunge dati ad un file già creato.
- Per scrivere dati su un file è necessario indicare:
  - il descrittore del file (ottenuto tramite open o creat);
  - i dati da scrivere.

- Uso:

```
int write(int fd, const void * buffer, int count)
```

  - restituisce il numero di caratteri effettivamente scritti.

- Il file system aggiorna il puntatore alla posizione in cui deve essere effettuata la scrittura successiva.

Lettura - `read()`

- Preleva dati da un file già creato.
- Per leggere dati da un file è necessario fornire:
  - il descrittore del file (ottenuto tramite open);
  - un puntatore al buffer destinato a contenere i dati
- Uso:

```
int read(int fd, void * buffer, int count)
```

  - restituisce il numero di caratteri effettivamente letti.
- Il file system aggiorna il puntatore alla posizione in cui deve essere effettuata la lettura successiva.

Riposizionamento - `lseek ()`

- Sposta il puntatore di lettura/scrittura
- Le operazioni consentite dipendono dall'accesso al file
- Uso:

```
long lseek(int fd, long offset, int whence)
```

  - modifica la posizione corrente e la restituisce come long
  - *offset* indica lo scostamento rispetto ad una posizione notevole, che si sceglie con il valori dell'argomento *whence*:
    - SEEK_SET = 0: inizio del file;
    - SEEK_CUR = 1: posizione corrente;
    - SEEK_END = 2: fine del file;
- Esempi:
  - `lseek(fd, 0L, SEEK_CUR)` : restituisce la posizione attuale senza modificarla;
  - `lseek(fd, 0L, SEEK_SET)` : posiziona all'inizio del file;
  - `lseek(fd, 0L, SEEK_END)` : posiziona alla fine del file.

Duplicazione di descrittore - dup()

- Duplica un descrittore, cioè crea un nuovo descrittore, associato ad un file già aperto;
- Aggiunge una riga nella tabella dei file aperti da quel processo;
- Usa il primo descrittore disponibile;
- Uso:
  - fd1 = open(…);
  - fd2 = dup(fd1);
  - la posizione corrente è unica per i due o più descrittori (esiste una sola riga nella tabella globale dei file aperti).

Duplicazione di descrittore via `fork()`

- La chiamate fork() per la creazione di processi condividono automaticamente tutti i file aperti;
- il figlio eredita dal padre i descrittori aperti, che restano condivisi fra padre e figlio;
- i descrittori condivisi hanno ovviamente una sola posizione corrente.

Chiusura - `close()`

- Libera il descrittore dalla tabella dei file aperti dal processo; quel descrittore può essere riusato;
- Decrementa il contatore di uso del descrittore nella tabella globale dei file aperti corrispondente;
- Può eliminare il descrittore dalla tabella globale dei file aperti se il contatore vale zero e c'è penuria di spazio per le dentry;
- Uso:

```
int close(int fd)
```

  - restituisce l'esito dell'operazione di chiusura.

Nuovo riferimento - `link()`

- Collega un nuovo nome ad un file già esistente:
  - `int link(char *nome, char *nuovo_nome)`
  - restituisce l'esito dell'operazione.
- Crea una nuova voce di directory per *nuovo_nome*
- Incrementa di 1 il contatore dei **riferimenti** (link) all'i-node associato a quel file

Cancellazione - `unlink()`

- Scollega un nome di file dal relativo i-node e cancella tale nome;
- Il contatore dei riferimenti all'i-node viene decrementato;
- Se tale contatore giunge a zero, anche l'i-node e il file vengono eliminati dal filesystem:
  - lo spazio occupato dal file sul dispositivo fisico viene disallocato;
  - esso viene aggiunto alla lista dello spazio disponibile sul dispositivo;
- Uso:
  - `int unlink(char *nome)`

Un esempio (i)

```
/* esempio di uso delle operazioni Linux sui file .*/
#include <sys/types.h>
#include <sys/stat.h>
#include <fcntl.h>
#include <unistd.h>
void main()
{
   int fd1;
   int i,pos;
   char c;
   fd1 = open("fileprova", O_RDWR); /* apertura del file */
   printf("pos=%ld\n", lseek(fd1,0,1)); /* visualizza posizione corrente */

   for (i=0; i<20;i++) /* scrittura del  file */
   {     c = i + 65; /*caratteri ASCII a partire da 'A' */
         write(fd1, &c, 1);
         printf("%c",c);
   }
   /* visualizza posizione corrente; riportala a 0 */
   printf("\npos=%ld \n", lseek(fd1,0,1));
   lseek(fd1,0,0);
```

Un esempio (ii)

```
/* lettura e visualizzazione del  file */
for (i=0; i<20;i++) {
      read(fd1, &c, 1);
      printf("%c",c);
}
printf("\n");

/* posizionamento al byte 5 del file e stampa posiz.*/
printf("\npos= %ld\n", lseek(fd1,5,0));

/*lettura di 5 caratteri */
for (i=0; i<5;i++) {
      read(fd1, &c, 1);
      printf("%c",c);
}
printf("\n");

/*scrittura di 5 caratteri x*/
c= 'x';
for (i=0; i<5;i++)
    write(fd1, &c, 1);
```

Un esempio (iii)

```
    /* lettura del  file dall'inizio */
    lseek(fd1,0,0);
    for (i=0; i<20;i++)
    {
          read(fd1, &c, 1);
          printf("%c",c);
    }
    printf("\n");
    /* chiusura file */
    close(fd1);
}
```

Directory: struttura gerarchica del file system

- Un file system può risiedere su una o più partizioni (porzione contigua di dispositivo fisico scelta da chi ha configurato il sistema);
  - *Directory*: Le directory contengono informazioni sui file e sulle directory in esse incluse, e fungono da indice per il proprio contenuto;
  - *File (regolari)*: contengono dati o programmi;

- *Pathname* (nome completo di un file): è il nome (percorso) ottenuto concatenando tutti i nomi delle directory che devono essere percorse dalla radice fino al file, quindi il nome del file
  - esempio: /home/jsmith/work/report2004.tex

Directory

- Le directory sono un gruppo di nomi di file;
- le directory sono esse stesse dei file, quindi sono caratterizzate da nome e diritti d'accesso;
- contengono informazioni sui file (e quindi anche delle directory) in esse contenuti (nome, attributi, proprietario);
- forniscono una corrispondenza tra nomi di file e contenuto;
- il loro contenuto è una tabella, con una voce per ogni file
- ogni voce è del tipo:

<*nome file, numero di i-node*>

Contenuto di una directory (`/etc`)

riferimento (*i-node*)	nome del file
3	. *(direttorio corrente)*
2	.. *(direttorio padre)*
4	passwd
7	shadow
…	…
…	…

Operazioni sulle directory

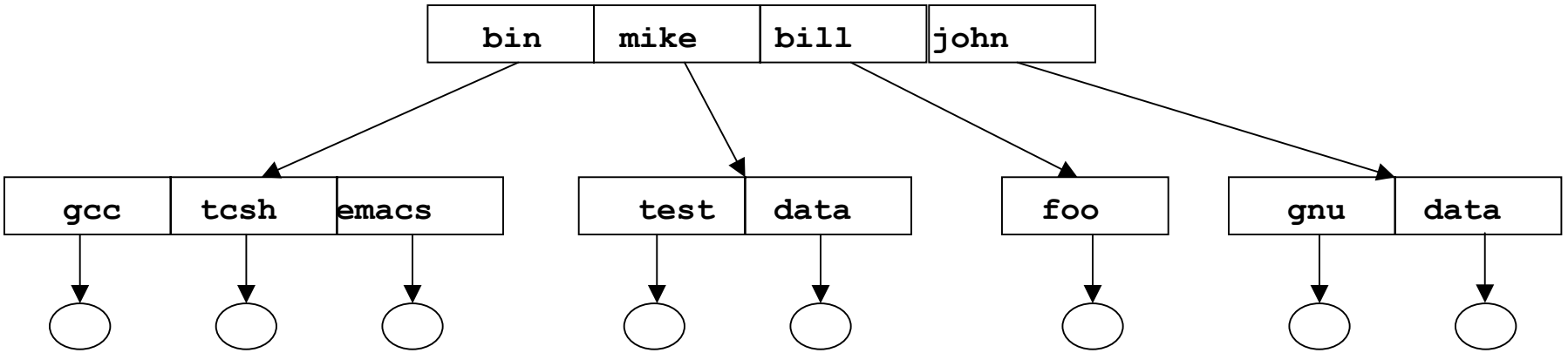
- Sulle directory, così come sui file, è possibile compiere operazioni:
  - *Ricerca di un file*: Sulla base di un nome o una espressione regolare consente di recuperare le informazioni su uno o più file;
  - *Creazione di un file*: aggiunta alla directory di un elemento che contiene le informazioni sul nuovo file;
  - *Rimozione di un file*: eliminazione di un nome collegato a file, ed eventualmente del file stesso.
  - *Elenco dei file*: produce l'elenco dei nomi ed eventualmente altre informazioni relative ai file memorizzati
  - *Rinomina di un file*: modifica il nome di un file già presente nella directory.
- Per creare una directory si usa la funzione **`mkdir()`**

Possibili organizzazioni di directory

- Una sola directory
  - Tutti i file sono contenuti in essa
  - Struttura molto semplice ma con alcuni problemi (unicità dei nomi, ricerca inefficiente, accesso indifferenziato per tutti gli utenti);
- Due livelli di directory
  - directory principale: (*root*) contiene un elenco di directory, una per ogni utente
  - directory utente: contiene i file di un singolo utente (*home*).
  - I singoli utenti potrebbero vedere e gestire solo i propria file, posti nella propria home
  - La gestione della directory root è affidata ad un amministratore.

Organizzazione a due livelli

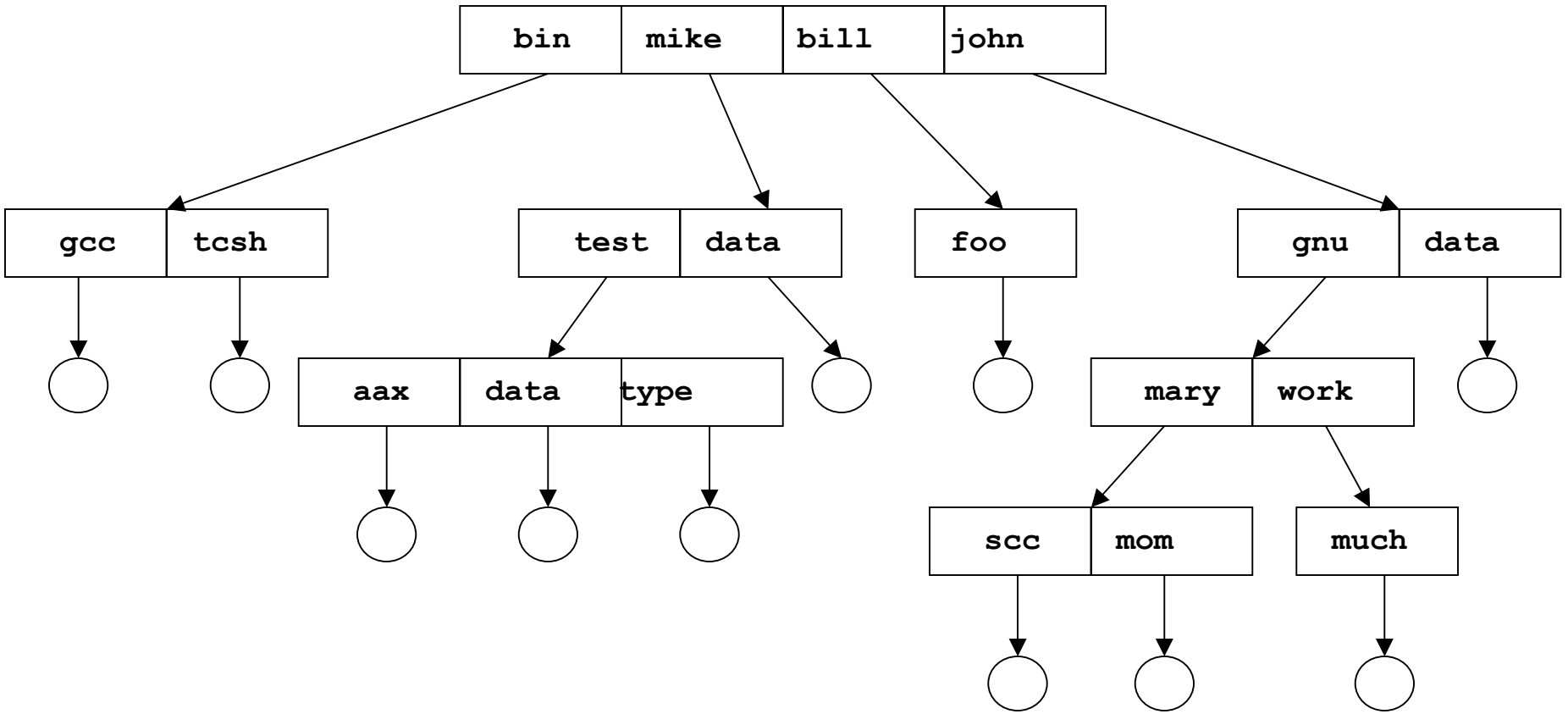
- Quando un utente richiede l'accesso ad un file, il file system cerca il nome nella directory home dell'utente.
- Per accedere ai file di altri utenti si utilizza il *pathname* cioè la composizione del nome dell'utente e del nome del file.
- Spesso gli applicativi sono accessibili a tutti gli utenti e memorizzati in una directory specifica (*bin*).
- I file vengono prima cercati prima nella directory home dell'utente, quindi, se la ricerca fallisce, nella directory degli applicativi



Struttura di directory ad albero

- E' una estensione del caso precedente, con un numero arbitrario di livelli
- Un utente accede ai file attraverso il loro *pathname*
- Per semplificare l'accesso ai file viene definito il concetto di *current working directory* (*cwd*) cioè di directory corrente;
- Si intende che i file indicati senza percorso devono essere cercati nella directory corrente;
- Comandi offerti dal sistema operativo a riguardo:
  - *cd <dir>:* change directory. La directory indicata diviene la nuova directory corrente
  - *pwd:* Print Working Directory. Mostra la directory corrente.

Esempio di directory ad albero



Periferiche e file speciali

- In Unix le periferiche sono viste come file speciali, presenti nella directory */dev*.
- Sulle periferiche è possibile eseguire **`open`**, **`read`** e **`write`** (purchè abbia senso), **`close`** ma non **`creat`**
- Ogni programma all'avvio, dispone di 3 descrittori di file aperti: stdin (0), stdout (1), stderr (2) associati alla console corrente (tastiera e video). Nella tabella dei file aperti di un processo, i primi 3 elementi sono associati a questi descrittori.
- I descrittori standard possono essere rediretti su altri file. Ad esempio:
  - ```
    close (1);          /* chiude stout e libera il descrittore 1 */
    fd = open ("./outputfile", O_WRONLY);
    /* il descrittore 1 viene associato a outputfile, quindi ogni
    operazione su 1 viene eseguita su outputfile */
    ```
  - (stile di programmazione disdicevole, usate invece **`dup2(..., 1)`**)
    ```

Protezione e diritti d'accesso

- Un buon filesystem deve proteggere i dati dagli *accessi indesiderati* (a garanzia di riservatezza/integrità, impedire eliminazioni accidentali);
- e cioè definire e implementare una politica di accesso
- Esempi di banali politiche di accesso:
  - *Ogni utente accede solo ai propri file*
  - *Ogni utente accede a tutti i file*
- Diventa possibile associare regole di accesso ai file sulla base di:
  - identità dell'utente e gruppo di lavoro dell'utente
  - proprietà dei file
  - tipo di operazione richiesta: lettura, scrittura, esecuzione

Protezione con liste di controllo di accesso

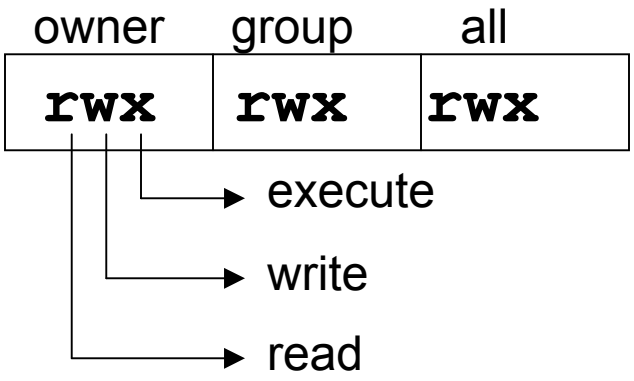
- L'accesso e le operazioni consentite dipendono dall'identità dell'utente
- Ad ogni file è associata una *lista di accesso*, cioè una matrice che indica se un certo utente può eseguire una certa operazione;
- Quando un'operazione viene richiesta il sistema operativo controlla la lista di accesso per verificare se il richiedente ha il permesso di compierla.
- Svantaggi:
  - le liste di accesso possono essere di dimensioni notevoli;
  - le liste devono essere create e mantenute per ogni file;
  - il tempo di accesso ad un file si allunga.

Protezione dei file nei sistemi unix-like

- I sistemi unix-like adottano una soluzione semplificata delle liste di accesso
- Ciascun utente ha uno *username* (identificativo utente) e appartiene a uno o più *gruppi*
- Ciascun file ha esattamente un utente proprietario, un gruppo proprietario e dei permessi
- Rispetto a un file, un utente cade in una delle classi (nell'ordine di valutazione elencato):
  - *Owner*: se è il proprietario del file
  - *Group*: se è fra i membri del gruppo proprietario del file
  - *All*: altrimenti

Protezione dei file nei sistemi unix-like

- Le operazioni su file sono divise in tre gruppi:
  read, write, execute (lettura, scrittura, esecuzione);
- Per una directory:
  - lettura = diritto di elencare la directory
  - scrittura = diritto di eliminare / rinominare file
  - esecuzione = diritto di entrare in quella directory (cd)
- I *permessi* sono 3 gruppi di 3 bit; ogni bit indica se una classe di utenti può svolgere una data operazione



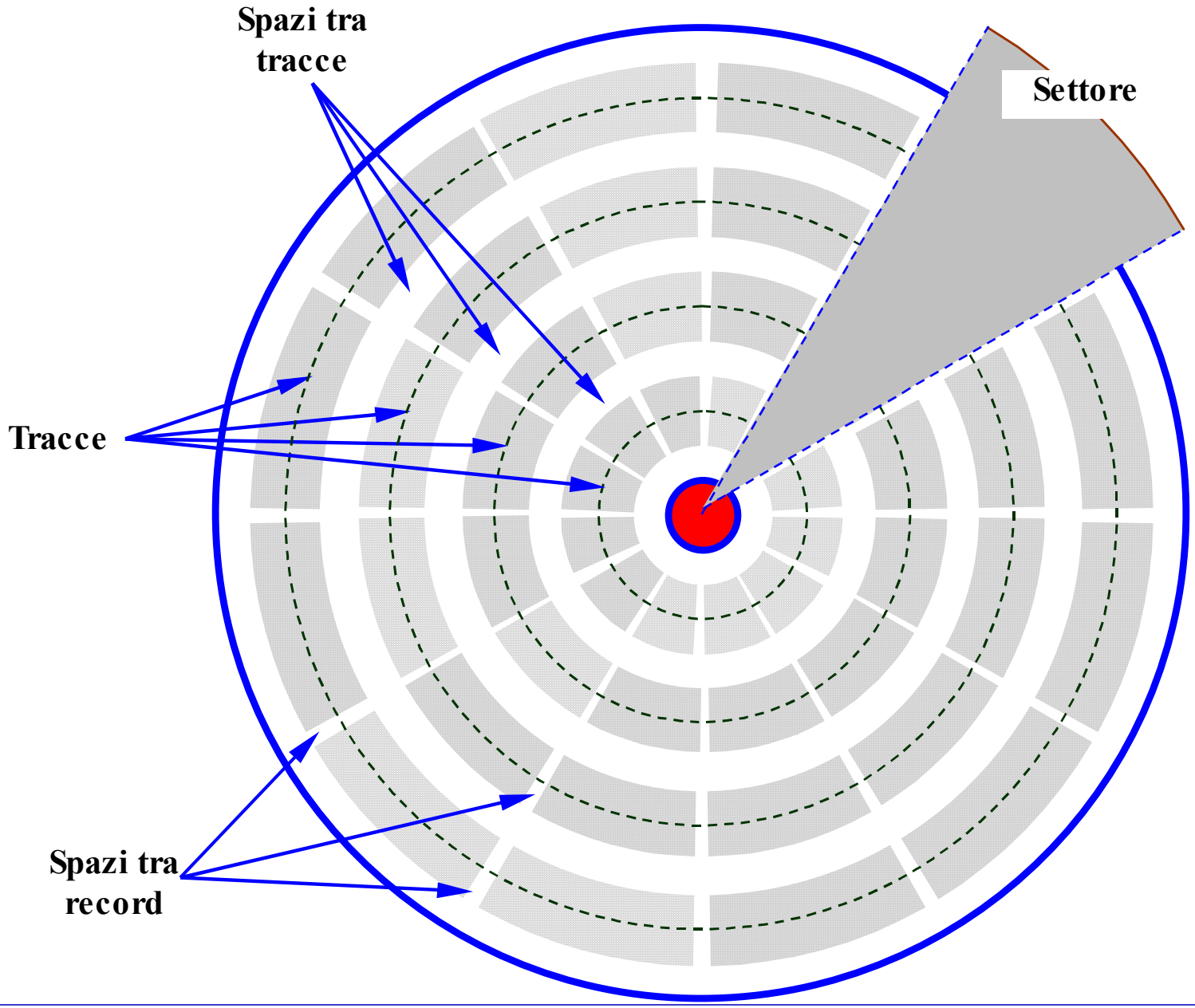
owner	group	all
rwx	rwx	rwx
111	101	101
7	5	5

Mapping del file system logico sul dispositivo fisico

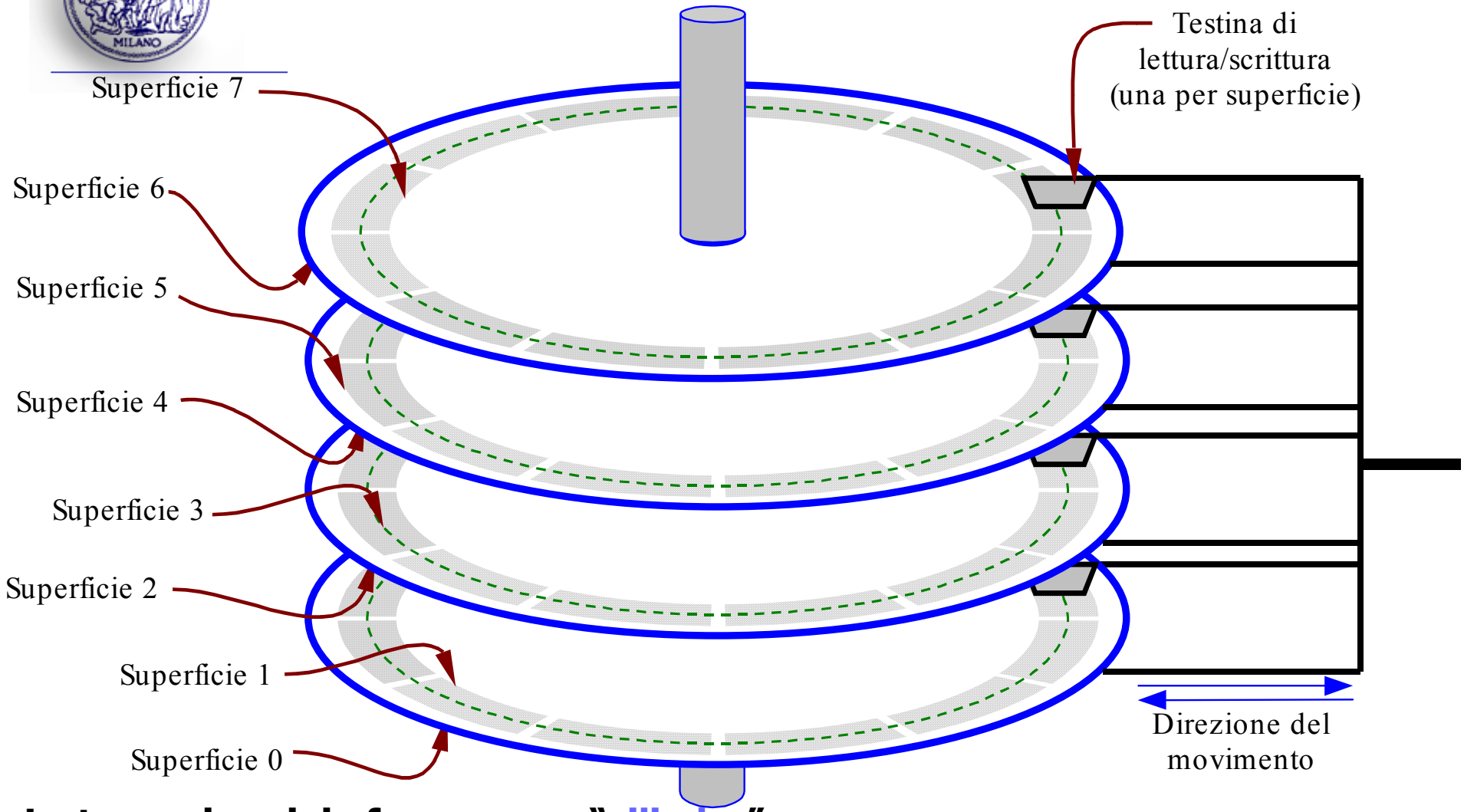
- Il file system svolge le sue funzioni accedendo ai dispositivi tramite l'invocazione di routine messe a disposizione dal driver del disco
- Il driver del disco fornisce una interfaccia di accesso ai dati su disco nascondendone le caratteristiche fisiche
- Il disco, a livello di file system, è rappresentato da un dispositivo logico, chiamato **volume** composto da un array di **blocchi**
  - Il blocco è una porzione di disco costituita da un numero intero di byte che viene trasferita in memoria con un'unica operazione

Struttura del dispositivo fisico: tracce e settori

- **Traccia (track):** sequenza circolare di bit scritta mentre il disco compie una rotazione completa:
  - la larghezza di una traccia dipende dalla dimensione della testina e dall'accuratezza con cui la si può posizionare;
  - la densità radiale va da 800 a 2000 tracce per centimetro (5-10 µm per traccia);
  - tra una traccia e l'altra c'è un piccolo spazio di separazione (**gap**).
- **Settore (sector):** parte di una traccia corrispondente a un settore circolare del disco:
  - un settore contiene 512 byte di dati, preceduti da un preambolo, e seguiti da un codice di correzione degli errori;
  - la densità lineare è di circa 50-100kbit per cm (0.1-0.2 µm per bit);
  - tra settori consecutivi si trova un piccolo spazio **(intersector gap).**
- **Formattazione:** operazione che predispone tracce e settori per la lettura/scrittura.


Spazi tra
tracce
Settore
Tracce
Spazi tra
record

Geometria di un Hard Disk



Le tracce in grigio formano un "cilindro"

Prestazioni dei dischi

- **Tempo di accesso** (ms o 10^{-3}s)
  - **Seek time**
    - la testina deve arrivare alla traccia giusta;
    - dipende dalla meccanica (5-15 ms, 1 per tracce adiacenti).
  - **Latency**
    - il disco deve ruotare fino a portare il dato nella posizione giusta;
    - dipende dalla velocità di rotazione (5400-10800 RPM → 2.7-5.4ms).
- **Transfer Rate** (MB/s)
  - **Velocità di trasferimento del disco**
    - dipende dalla densità di registrazione e dalla velocità di rotazione;
    - un settore di 512 byte richiede fra 25 e 100 µsec (5-20 MB/sec).
  - **Velocità di trasferimento del sistema di controllo**
    - SCSI vs. EIDE

I driver di dispositivo (device driver)

- Il sistema operativo pilota dispositivi hardware diversi mediante i driver;
- I driver sono solitamente divisi in due categorie:
  - per dispositivi a blocchi:
    ogni blocco può essere acceduto in qualsiasi momento mediante il suo indirizzo (ex: dischi);
  - per dispositivi a caratteri:
    i caratteri sono trasferiti in sequenza; non ha senso parlare di indirizzamento;
- I driver dei dispositivi a caratteri interagiscono direttamente solo con il filesystem, i driver dei dispositivi a blocchi anche con il gestore della memoria;

I driver di dispositivo (device driver)

- I dispositivi visti dal sistema sono identificati da una coppia di numeri: major and minor numbers
- Dispositivi gestiti dallo stesso driver hanno uguale major number e si distinguono l'uno dall'altro per il minor number;
- Per convenzione, i dispositivi sono rappresentati da file speciali sotto /dev
- I file speciali associati ai dispositivi non si creano con creat() ma con mknod():
  - `int mknod(char *pathname, mode_t mode, dev_t dev);`
  - mode: S_IFREG, S_IFCHR, S_IFBLK, S_IFIFO or S_IFSOCK

Le operazioni di un driver

- Le operazioni che il sistema operativo può richiedere ad un driver sono prefissate:
  - inizializzazione
  - messa in servizio / fuori servizio
  - leggere/ricevere dati
  - scrivere/inviare dati
  - gestire gli errori
- Il driver è costituito da:
  - un insieme di routine (una per ogni operazione)
  - una routine di servizio di interrupt
    (per servire l'interrupt proveniente dal dispositivo);

Le operazioni di un driver

- Ogni driver ha una tabelle delle operazioni

```
struct file_operations {
…
loff_t          (*llseek) (struct file *, loff_t int);
ssize_t         (*read)   (struct file *, char *, size_t *, loff_t *);
ssize_t         (*write)  (struct file *, const char *, size_t, loff_t *);
int             (*open)   (struct inode *, struct file *);
int             (*readdir) (struct file *, void *dirent, filldir_t);
…
};
```

- I membri di questa tabella sono puntatori alle funzioni che svolgono le operazioni richieste
- Il driver, all'inizializzazione, restituisce al kernel un puntatore a questa tabella
- Il kernel registra questo puntatore nella riga delle propria tabella dei driver (a blocchi / a caratteri), nella riga corrispondente al major number del dispositivo

Bibliografia

- Maggiori informazioni sono disponibili nel seguente testo:

  Linux Device Drivers, 2nd Edition

  By Alessandro Rubini & Jonathan Corbet

  2nd Edition, June 2001

  0-59600-008-1

  586 pages, $39.95

- si può leggere online al seguente indirizzo

  http://www.xml.com/ldd/chapter/book/

Struttura del dispositivo logico: Volume

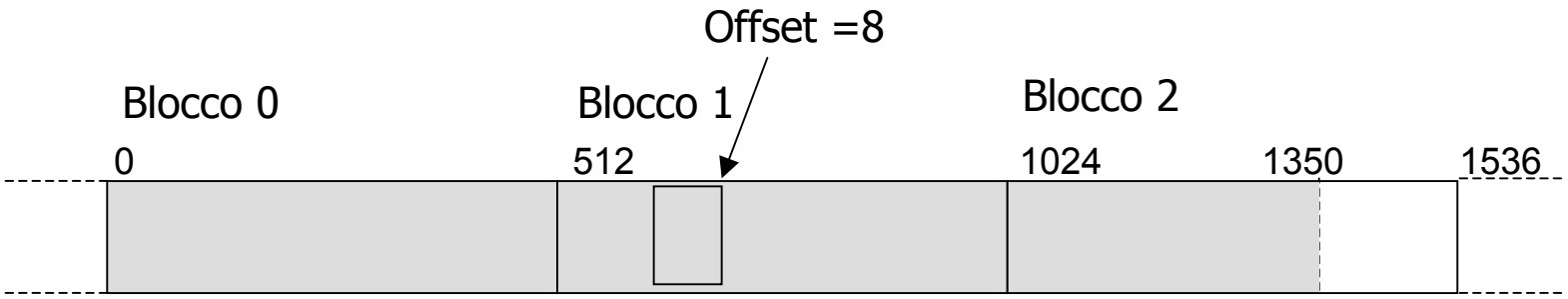
- UNIX gestisce i file system a livello logico considerandoli come dispositivi logici (volumi) identificati da un numero
- Il volume è composto da una sequenza di blocchi logici (vettore di blocchi), di dimensioni fisse pari a un multiplo di 512 byte (configurabile a livello di sistema).
- La conversione tra indirizzi del dispositivo logico (volumi e blocchi) e indirizzi fisici (tracce e settori) è realizzata dal driver del disco.

Blocco di un volume

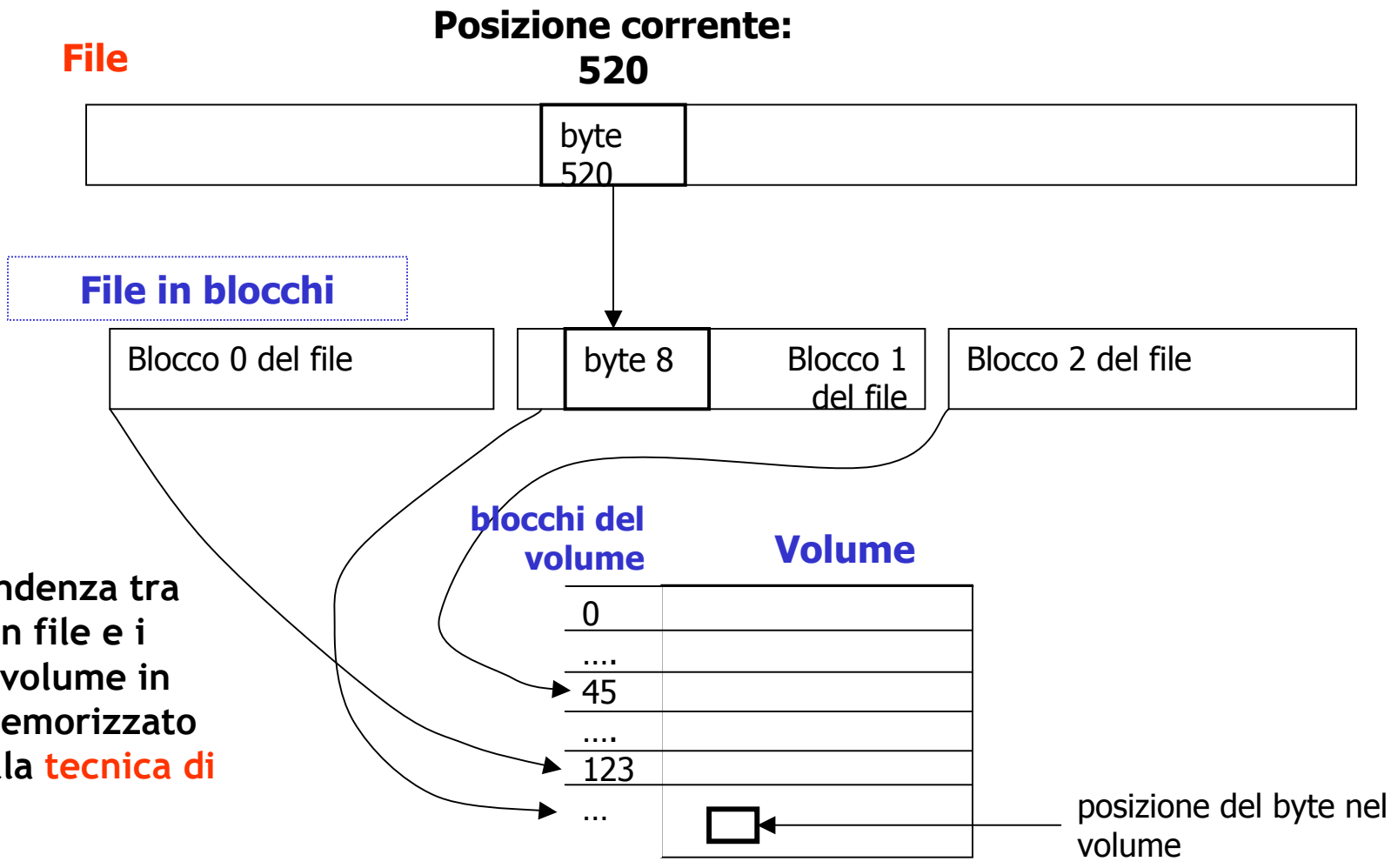
- Il blocco è l'unità di informazione trasferita con un solo accesso a disco, quindi è un multiplo del settore
- Un blocco può essere letto o scritto in un buffer di memoria centrale di ugual dimensione
- Il gestore dei buffer (buffer cache - parte del gestore della memoria virtuale) gestisce le aree di buffer cercando di minimizzare le letture multiple a disco
- Quando il file system richiede la lettura di un blocco intergisce con il gestore dei buffer che, a sua volta, può interagire con il driver del disco

Struttura logica di un file

- Il file è visto dal file system come una sequenza di blocchi numerati logicamente a partire da 0 all'interno del file
- Le operazioni read, write etc. fanno riferimento alla posizione corrente nel file
- Ad esempio: ricerca del byte 520 (posizione corrente):
  - Blocco = 520 / 512 = 1 (divisione intera)
  - Offset nel blocco = 520 % 512 = 8 (resto della divisione intera)



Allocazione del file nel volume



La corrispondenza tra blocchi di un file e i blocchi del volume in cui viene memorizzato dipende dalla tecnica di allocazione

Tecnica di allocazione: i-node

- I sistemi operativi unix-like utilizzano uno schema di allocazione indicizzata combinata dei blocchi dei file sui blocchi del volume
- La tecnica è realizzata mediante una lista (*i-list*) i cui elementi sono chiamati *i-node (index-node)*
- Ogni i-node contiene la lista degli attributi e degli indirizzi dei blocchi di disco a cui sono associati i blocchi del file
- Un file esiste nel file system se esiste il corrispondente i-node.

Struttura generica di un volume

Blocco di boot	Super block	Lista i-node	Blocchi dati

(Presentiamo una possibile soluzione semplificata, non corrispondente ad alcuna particolare implementazione).

Un volume contiene l'immagine del file system ad esso associato

- Blocco 0: tipicamente contiene il boot record, cioè codice di avvio del sistema operativo (altrimenti allocato ma non utilizzato)
- Superblock: contiene lo stato del file system (dimensioni, spazio libero, timestamp, contatore montaggi, ...)
- Tabella degli i-node: ogni elemento è un i-node
- Blocchi di dati: che contengono i blocchi dei file

Implementazione dei file

- Ogni file regolare, directory o speciale ha associato un i-node
- Gli i-node dei file in un disco sono memorizzati in sequenza all'inizio del volume e costituiscono la i-list
- In una directory, i file contenuti (siano essi regolari, directory o speciali) sono rappresentati da una tabella le cui voci sono coppie < i_node, nome_file >
- Dato il numero dell'i-node, si può localizzare la posizione del file calcolandone l'indirizzo su disco

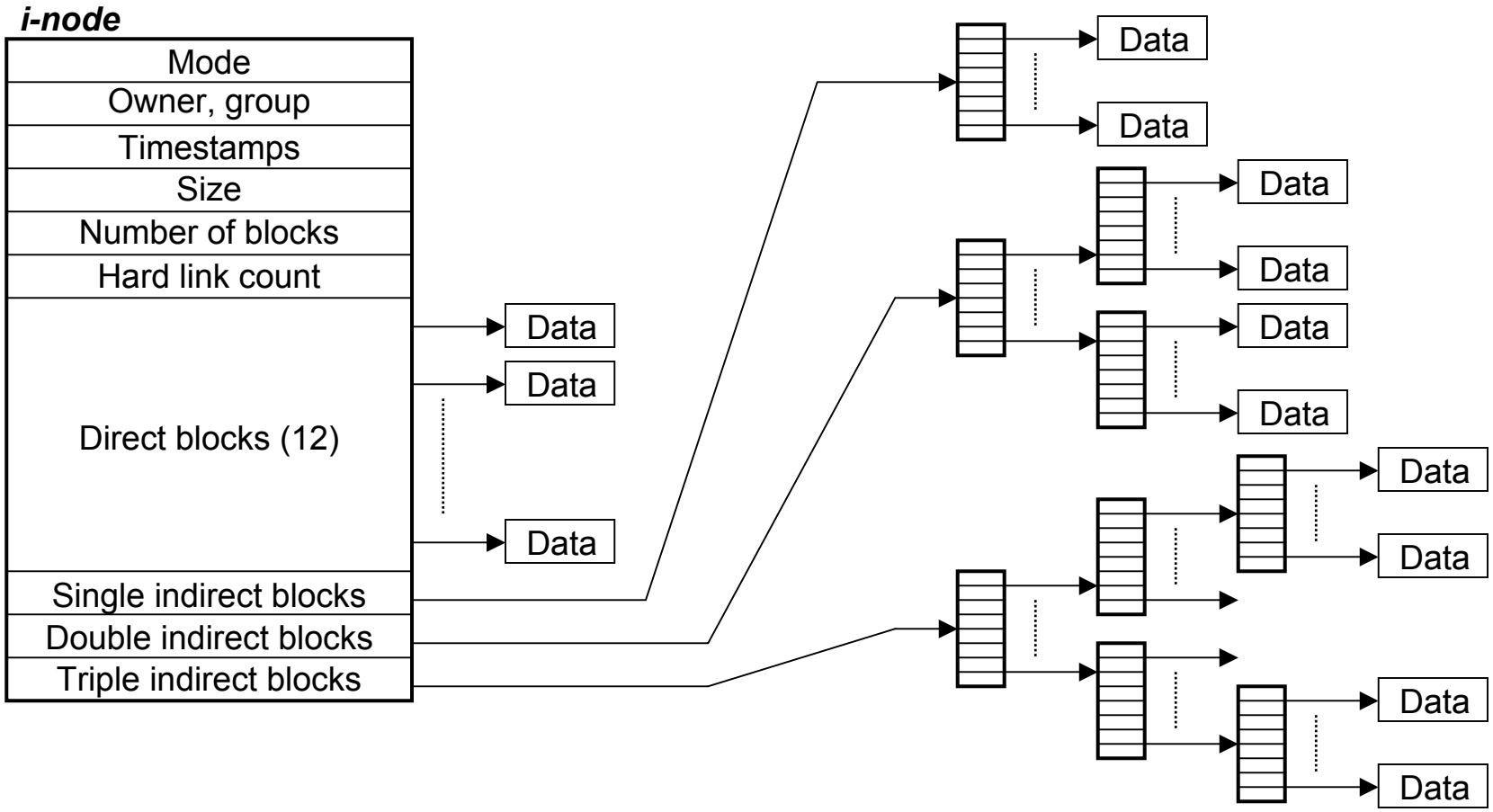
Quali informazioni contiene un i-node

- I dettagli implementativi dipendono dal filesystem utilizzato.
- Esempio: facciamo riferimento all'*ext2fs*:
  - Tipo di file (regolare/speciale/directory)
  - Diritti (9 bit rwx) e altri flag
  - Contatore di hard link al file
  - Identificatore utente e gruppo proprietari del file
  - Lunghezza del file in byte e in blocchi (valido solo per file regolari e directory)
  - 15 indirizzi di blocchi dati, che contengono i dati del file. Non sono significativi nel caso di file speciale
  - Timestamp in cui il file è stato creato, letto e scritto per l'ultima volta;

Allocazione indicizzata combinata in ext2fs

- I primi 12 indirizzi su disco (i_block[0]... i_block[11]) rappresentano direttamente blocchi del file su disco
- Per file di dimensioni maggiori, l'i_block[12] contiene l'indirizzo di un blocco del disco chiamato single indirect block che a sua volta contiene altri indirizzi diretti di blocchi del disco
- Se questo non è sufficiente, l'i_block[13] mette a disposizione un altro blocco, chiamato double indirect block che contiene l'indirizzo di un blocco che a sua volta contiene una lista di single indirect block
- Esiste anche un triple indirect block (i_block[14]), nel caso la doppia indicizzazione non sia sufficiente
- (confrontare con pag. 469 [Bovet])

Rappresentazione dell'i-node (ext2fs)



Contenuto del superblock

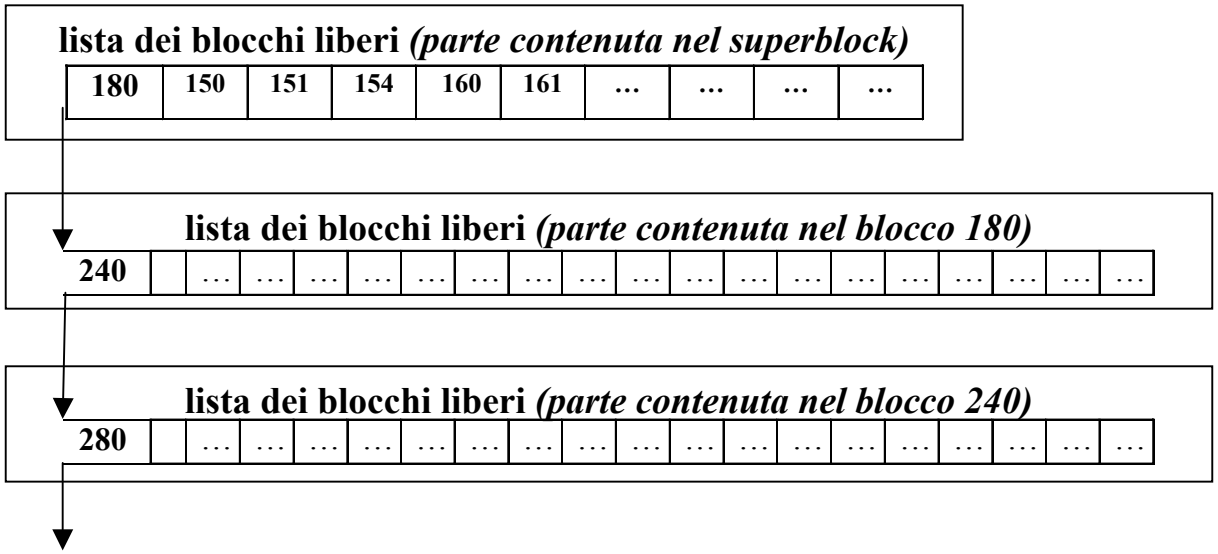
Contiene informazioni necessarie a gestire il filesystem:

- dimensione del volume in blocchi;
- numero totale degli i-nodes;
- numero di blocchi liberi;
- numero di i-nodes liberi;
- dimensione del blocco;
- nome del volume;
- conteggio dei montaggi e timestamp dell'ultimo montaggio
- numero di elementi della lista o bitmap dei blocchi liberi;
- altre informazioni ausiliarie.

(vedere pagina 455 [Bovet])

Gestione dello spazio libero

- All'atto della creazione e scrittura di un file è necessario individuare sul disco il primo blocco libero da allocare al file
- una soluzione possibile è una *lista concatenata di blocchi liberi* (in genere il primo elemento della lista punta alla prossima lista …)



- ext2fs usa invece una bitmap per indicare i blocchi liberi (1 bit indica la disponibilità di 1 blocco)

Strutture dati del file system

UNIX dispone di tre tabelle per la gestione dei file

- Tabella dei descrittori di file utente:
  - tabella associata ad ogni processo utente contenente una riga per ogni file aperto dal processo (indice = descrittore del file) con l'indirizzo della riga della tabella globale dei file aperti relativa al file
- Tabella globale dei file aperti:
  - tabella del sistema operativo che contiene una riga per ogni file aperto nel sistema;
  - ogni riga contiene l'indirizzo del corrispondente i-node nella tabella degli i-node, l'indicatore della posizione corrente del file e il contatore al numero di riferimenti (link) da parte dei processi a questo file
- Tabella degli i-node:
  - le righe contengono la copia in memoria degli i-node del volume per maggiore efficienza nei riferimenti.

Strutture dati del file system

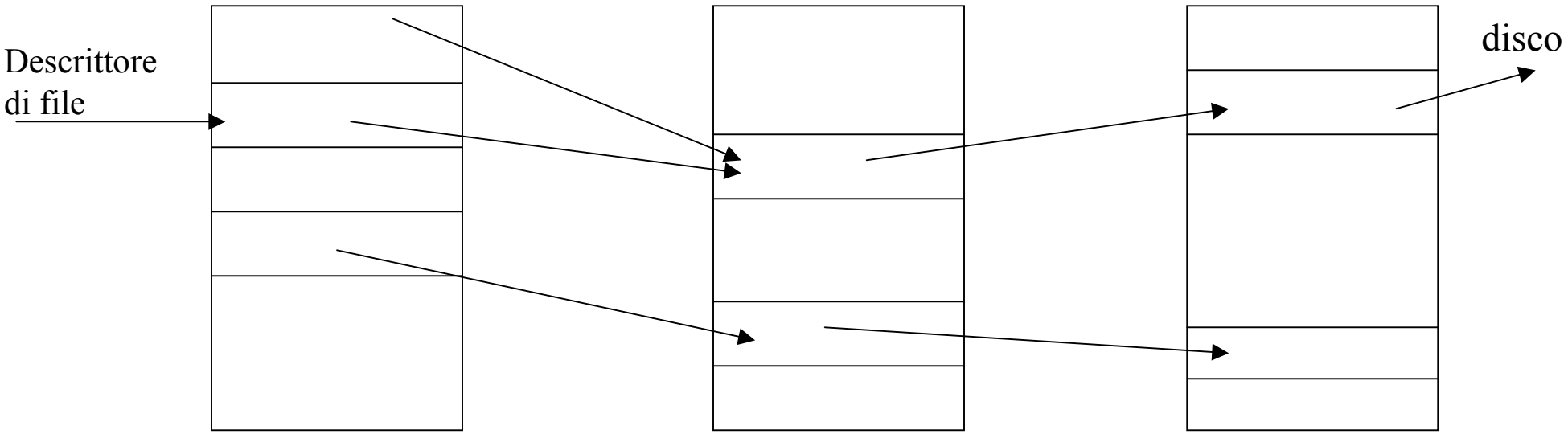


Tabella dei descrittori di file utente aperti

Tabella globale dei file aperti

Tabella degli i-node

Operazioni sui file e strutture dati del filesystem

- **`open()`:** la richiesta di apertura di un file al sistema operativo prevede le seguenti operazioni:
  - riservare una riga nella tabella globale dei file aperti e porre il contatore dei riferimenti a 1 e l'indicatore di posizione a 0
  - riservare un riga nella tabella del processo corrente dei file aperti del processo e scrivervi l'indice della riga corrispondente nella tabella globale dei file aperti;
  - determinare l'i-node corrispondente al file il cui path name è stato indicato nella richiesta e scriverlo nella riga della tabella globale dei file aperti allocata. Per fare ciò, per ogni directory che appare nel pathname, in sequenza:
    - determinare quali sono i blocchi dati associati ad essa (consultando l'i-node) e caricarli in memoria;
    - cercare in tali blocchi il componente successivo del pathname (file o dir);
    - determinare l'i-node di tale componente; se è una dire, ripetere dal passo 1;
  - restituire al processo un descrittore che è l'indice della riga di cui sopra nella tabella dei file aperti del processo

Operazioni sui file e strutture dati del file system

- **`creat()`:** richiesta di creazione di un file al sistema operativo:
  - verificare che esista un i-node libero
  - verificare che esistano blocchi liberi
  - riservare una riga nella tabella globale dei file aperti e porre il contatore dei riferimenti a 1 e l'indicatore di posizione a 0;
  - riservare un riga nella tabella dei file aperti dal processo e scrivervi l'indice della riga corrispondente nella tabella globale dei file aperti
  - allocare l'i-node al file, inizializzando le informazioni in esso contenute e aggiorna le informazioni relative alla i-list
  - aggiornare il contenuto della directory che contiene il file
  - scrivere nella riga della tabella globale dei file aperti associata al file il valore dell'i-node corrispondente al file
  - restituire al processo un descrittore costituito dal numero di riga della tabella dei file aperti dal processo

Operazioni sui file e strutture dati del file system

- **`dup()`:**
  - genera un nuovo descrittore per un file già presente nella tabella dei file aperti del processo (=duplica un descrittore);
  - il nuovo descrittore è il primo numero di descrittore libero;
  - la posizione corrente dell'originale e del duplicato è sempre unica, visto che esiste una sola riga nella tabella globale dei file aperti;
- **`fork()`:**
  - vengono duplicate anche le tabelle dei file aperti da un processo;
  - la posizione corrente è unica, esiste una sola riga nella tabella globale dei file aperti;
- Apertura dello stesso file da parte di 2 processi:
  - si aggiunge una riga nella tabella globale dei file aperti;
  - ogni processo ha una propria posizione corrente del file;

Operazioni sui file e strutture dati del file system

- Lettura o scrittura:
  - **`read()`** e **`write()`** prendono per argomento il descrittore del file su cui operare, che permettono di seguire i puntatori nelle tre tabelle e, tramite l'i-node, identificare i blocchi di dati del file

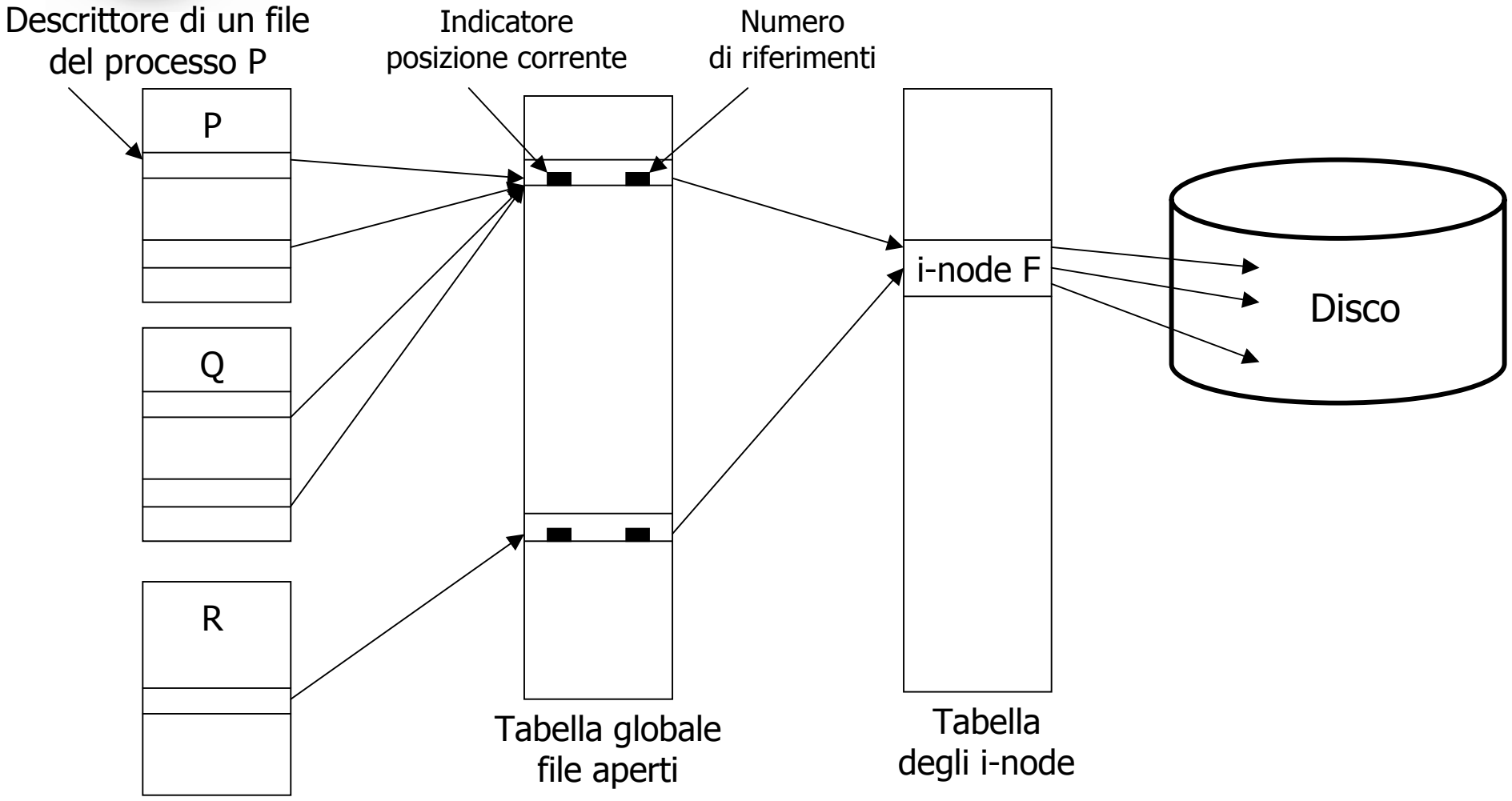
- Chiusura di un file:
  - Il sistema operativo libera la corrispondente riga dei descrittori di file utente aperti
  - Decrementa il contatore dei riferimenti nella tabella globale dei file e se =0, libera la riga

Esercizio:

- Considerate il seguente scenario:
  - Il processo P apre un file: `fd = open(...);`
  - Il processo P esegue una dup: `fd2= dup(fd);`
  - Il processo P genera un figlio Q: `fork();`
  - Un terzo processo, R apre lo stesso file F: `fd = open(...);`

- Rappresentate lo stato delle strutture dati del file system descritte in precedenza.

Soluzione


Descrittore di un file del processo P
Indicatore posizione corrente
Numero di riferimenti
P
Q
R
i-node F
Disco
Tabella globale file aperti
Tabella degli i-node

Due esempi di codice

- Confrontiamo il comportamento di due programmi che compiono le stesse azioni:
  - il primo fa uso di stream e funzioni della libreria C (**`fopen()`, `fclose()`, `fprintf()`, `fseek()`, `ftell()`**)
  - il primo fa uso di file descriptor e funzioni di sistema operativo (**`open()`, `close()`, `write()`, `lseek()`**)

Esempio 1

```
#include <stdio.h>
#include <sys/types.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
   int error, status;
   long posiz;
   pid_t pid;
   FILE *fp;
   char *s1 = "Nel mezzo del cammin di nostra vita";
   char *s2 = "mi ritrovai in una selva oscura";
   char *s3 = "che la diritta via era smarrita";

   printf("Verifica con fopen\n\npadre: apro il file \n");
   fp=fopen("divina.txt","w");
   if (fp==NULL) {
      fprintf(stderr,"Errore di apertura del file\n");
      exit(EXIT_FAILURE);
   }

   printf("padre: posizione corrente = %d\n", ftell(fp));

   printf("padre: scrivo sul file\n");
   fprintf(fp,"%s\n",s1);
   fprintf(fp,"%s\n",s2);
   fprintf(fp,"%s\n",s3);

   printf("padre: posizione corrente = %d\n", ftell(fp));
```

Esempio 1 (continua)

```
printf("padre: eseguo la fork\n");
pid = fork();
if (pid == 0) {
     /*  nel figlio: legge posizione corrente, che sarà identica a quella del padre */
     printf("figlio: posizione corrente = %d\n", ftell(fp));

     printf("figlio: riposiziono all' inizio del file\n");
     fseek(fp, (long) 0, SEEK_SET);

     /* legge posizione corrente, non più identica a quella del padre */
     printf("figlio: posizione corrente = %d\n", ftell(fp));

     /* chiude il file e termina */
     close(fp);
     exit(0);
} else {
     /* nel padre */
     printf("padre: generato figlio: %d\n",pid);
     /* legge la posizione corrente del file, dopo la fseek del figlio */
     wait(&status);
     printf("padre: figlio terminato: %d\n",pid);
     printf("padre: posizione corrente = %d\n", ftell(fp));
  }
  close(fp);
  return 0;
}
```

Risultato dell'esecuzione – esempio 1

```
Verifica con fopen

padre: apro il file
padre: posizione corrente = 0
padre: scrivo sul file
padre: posizione corrente = 100
padre: eseguo la fork
padre: generato figlio: 22783
figlio: posizione corrente = 100
figlio: riposiziono all' inizio del file
figlio: posizione corrente = 0
padre: figlio terminato: 22783
padre: posizione corrente = 100
```

Morale: i figli ereditano la gli stream aperti dal padre. Tuttavia gli stream contengono il proprio stato nello spazio di indirizzamento privato di ciascun processo, quindi le posizioni correnti sono **indipendenti**.

Esempio 2

```
#include <stdio.h>
#include <fcntl.h>
#include <sys/stat.h>
#include <sys/types.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char* argv[])
{
   int error, status, fd;
   pid_t pid;
   char *s1 = "Nel mezzo del cammin di nostra vita";
   char *s2 = "mi ritrovai in una selva oscura";
   char *s3 = "che la diritta via era smarrita";

   printf("Verifica con utilizzo open\n\npadre: apro il file \n");
   fd = open("divina.txt", O_RDWR | O_CREAT, 0666);
   if (fd < 0) {
      fprintf(stderr,"Errore di apertura del file\n");
      exit(EXIT_FAILURE);
   }
   printf("padre: posizione corrente = %d\n", lseek(fd, 0, SEEK_CUR));
   printf("padre: scrivo sul file\n");
   write(fd, s1, strlen(s1));   write(fd, "\n", 1);
   write(fd, s2, strlen(s2));   write(fd, "\n", 1);
   write(fd, s3, strlen(s3));   write(fd, "\n", 1);
   printf("padre: posizione corrente = %d\n", lseek(fd, 0, SEEK_CUR));
```

Esempio 2 (continua)

```
  /* il padre genera un figlio, che eredita file e posizione corrente del padre */
  printf("padre: eseguo la fork\n");
  pid = fork();

  if (pid == 0) {
      /*  nel figlio: legge posizione corrente, identica a quella del padre */
      printf("figlio: posizione corrente = %d\n", lseek(fd, 0, SEEK_CUR));

      /* il figlio si riposizioe all'inizio del file */
      printf("figlio: riposiziono all' inizio del file\n");
      lseek(fd, 0, SEEK_SET);

      /* legge posizione corrente, non piu' identica a quella del padre */
      printf("figlio: posizione corrente = %d\n", lseek(fd, 0, SEEK_CUR));
      close(fd);
      /* chude il file e termina */
      exit(0);
  } else {
      printf("padre: generato figlio: %d\n",pid);
      /* legge la posizione corrente del file, dopo la fseek del figlio */
      wait(&status);
      printf("padre: figlio terminato, posizione corrente = %d\n", lseek(fd, 0, SEEK_CUR));
   }
   close(fd);
   return 0;
}
```

Risultato dell'esecuzione - esempio 2

```
Verifica con open

padre: apro il file
padre: posizione corrente = 0
padre: scrivo sul file
padre: posizione corrente = 100
padre: eseguo la fork
padre: generato figlio: 22786
figlio: posizione corrente = 100
figlio: riposiziono all' inizio del file
figlio: posizione corrente = 0
padre: figlio terminato, posizione corrente = 0
```

Morale: i figli ereditano la tabella dei file aperti del padre. Hanno gli stessi file descriptor, che puntano alle stesse celle della tabella globale dei file aperti. **Condividono** quindi le posizioni correnti nei file.