IL FILE SYSTEM: GESTIONE DIRECTORY, SPAZIO E PERFORMANCE

Danilo Croce

Dicembre 2024

IMPLEMENTAZIONE DEL FILE SYSTEM

- In questa lezione cercheremo di rispondere alle seguenti domande relative i File System:
  - Come memorizzare i file?
  - Come implementare le directory?
  - Come gestire lo spazio su disco?
  - Come garantire le prestazioni del file system?
  - Come garantire l'affidabilità del file system?

IMPLEMENTAZIONE DEI FILE

IMPLEMENTAZIONE DEL FILE SYSTEM

- **Come memorizzare i file?**
- Come implementare le directory?
- Come gestire lo spazio su disco?
- Come garantire le prestazioni del file system?
- Come garantire l'affidabilità del file system?

INTRODUZIONE AL LAYOUT DEL FILE SYSTEM

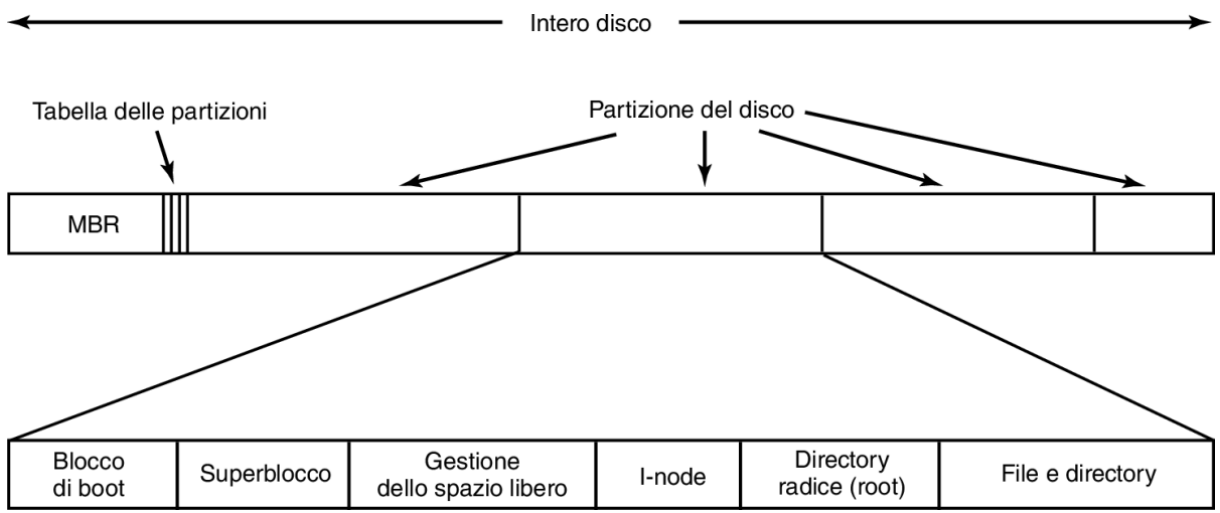
- **Definizione**: Il file system è il **metodo utilizzato per organizzare e memorizzare dati** sui dispositivi di memoria non volatile (dischi/SSD).
- **Importanza**: Fornisce un **modo strutturato per gestire informazioni** come file e directory su dispositivi di memoria.
- **Partizioni del Disco**: Un disco può essere **suddiviso in più partizioni**, ciascuna con un proprio file system indipendente.
- **Evoluzione**: I metodi di strutturazione del file system **variano a seconda dell'epoca del computer**, influenzando come i dati vengono gestiti e acceduti.

VECCHIO STILE - BIOS CON MBR (MASTER BOOT RECORD)

- **MBR nel BIOS**:
  - Situato nel settore 0 del disco, l'MBR è essenziale per l'avvio del computer.
  - Contiene la tabella delle partizioni con dettagli su inizio e fine di ciascuna partizione.
  - Identifica la partizione attiva da cui avviare il sistema.

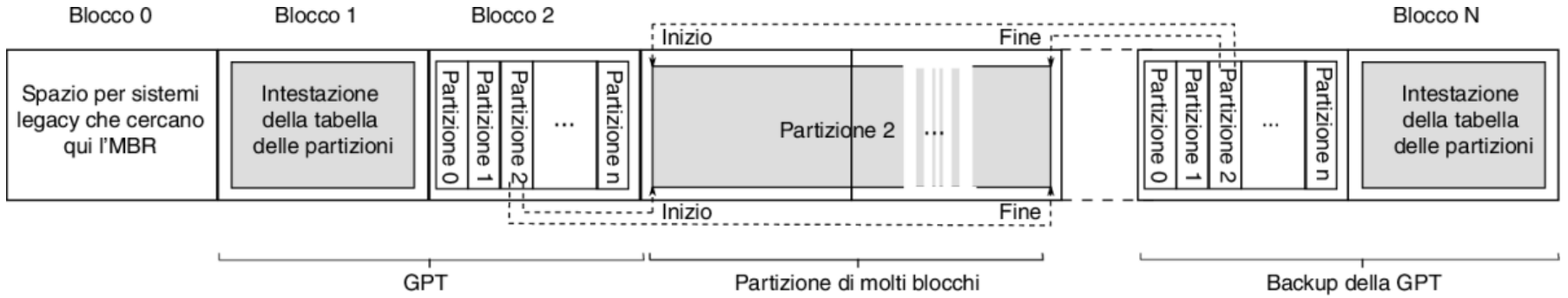
- **Processo di Avvio**:
  - Il BIOS legge l'MBR per trovare la partizione attiva.
  - Carica il **boot block** della partizione attiva per avviare il sistema operativo.

- **Layout del File System**:
  - Ogni **partizione inizia con un boot block**, seguito da vari elementi di sistema.
  - A destra un esempio di layout, includendo **superblocco**, **bitmap**, **I-node e directory radice** (vedi slide successive)



NUOVA SCUOLA - UEFI (UNIFIED EXTENSIBLE FIRMWARE INTERFACE)

- **UEFI (Unified Extensible Firmware Interface):**
  - **Cos'è:** Un sistema moderno che sostituisce il vecchio BIOS tradizionale.
- **Vantaggi:**
  - **Avvio più veloce:** Ottimizza il processo di inizializzazione dell'hardware.
  - **Compatibilità migliorata:** Supporta architetture hardware a 32 e 64 bit.
  - **Interfaccia utente avanzata:** Può includere grafica e supporto per mouse.
  - **Sicurezza:** Aggiunge funzionalità come il Secure Boot.
- **Supporto per dischi moderni:** UEFI funziona con **GPT**, consentendo di superare i limiti di 2,2 TB dei dischi gestiti con il vecchio schema MBR.



GPT E EFI SYSTEM PARTITION (ESP)

GUID Partition Table (GPT):

- **Cos'è:** Un avanzato sistema di gestione delle partizioni.
- **Caratteristiche:**
  - Supporta dischi fino a **8 ZiB**.
  - Consente un numero illimitato di partizioni (limite imposto solo dal sistema operativo).
  - Include **backup della tabella delle partizioni** per maggiore sicurezza.
  - Utilizza un controllo di integrità (**CRC**) per prevenire corruzione dei dati.

EFI System Partition (ESP):

- **Cos'è:** Una partizione speciale sui dischi GPT.
- **Funzione:**
  - Archivia i file di avvio come bootloader, driver e utility di diagnostica.
  - È essenziale per avviare il sistema operativo.
  - Usa il **file system FAT32**, garantendo compatibilità con il firmware UEFI.

SECURE BOOT - SICUREZZA DURANTE L'AVVIO

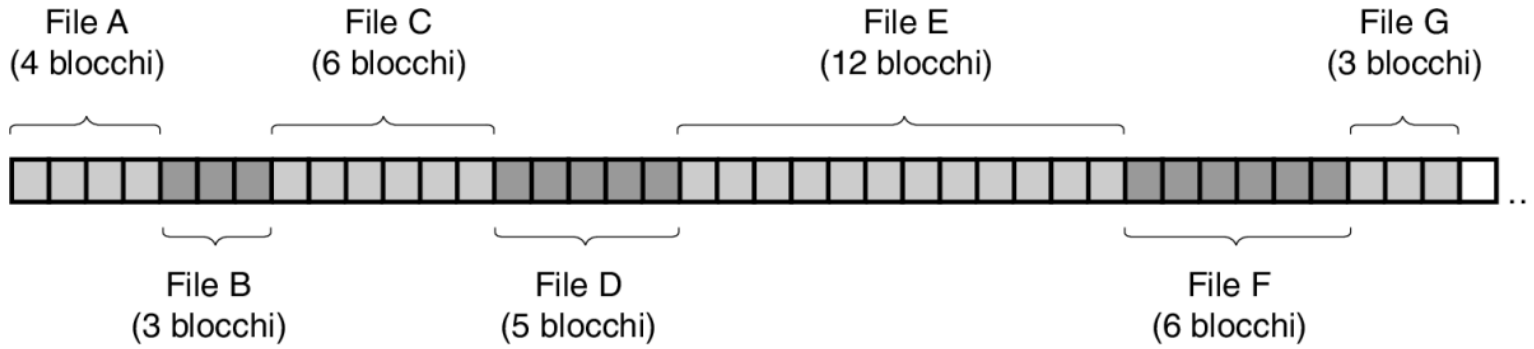
- **Cos'è:** Una funzionalità UEFI progettata per impedire l'avvio di software non autorizzato.
- **Funzionamento:**
  - Controlla le **firme digitali** di bootloader, driver e sistema operativo.
  - Avvia solo software autorizzato e firmato.
  - Blocca malware e rootkit durante l'avvio.
- **Vantaggi:**
  - Protegge contro attacchi all'avvio (es. rootkit, malware).
  - Mantiene l'integrità del sistema operativo.
  - Aumenta la sicurezza per utenti domestici e aziende.
- **Considerazioni:**
  - Alcuni sistemi operativi (es. alcune distribuzioni Linux) potrebbero richiedere la disattivazione del Secure Boot per funzionare.
  - Disattivabile nelle impostazioni UEFI, ma ciò può esporre il sistema a rischi.

IMPLEMENTAZIONE DEI FILE NEI FILE SYSTEM

- **Obiettivo Principale**: Gestire l'associazione tra i file e i blocchi del disco su cui sono memorizzati.
- **Importanza**: Fondamentale per assicurare l'integrità, l'accesso efficiente e la gestione dello spazio su disco.
- **Varietà di Metodi**: Diversi sistemi operativi adottano approcci differenti per questa associazione.
  - **Basato su**
    - Metodi basati su indici
    - Liste concatenate
    - Bitmap
    - Strutture ad albero
- **Focus**: Analisi dei vari metodi e delle loro caratteristiche specifiche nel contesto dei diversi file system.

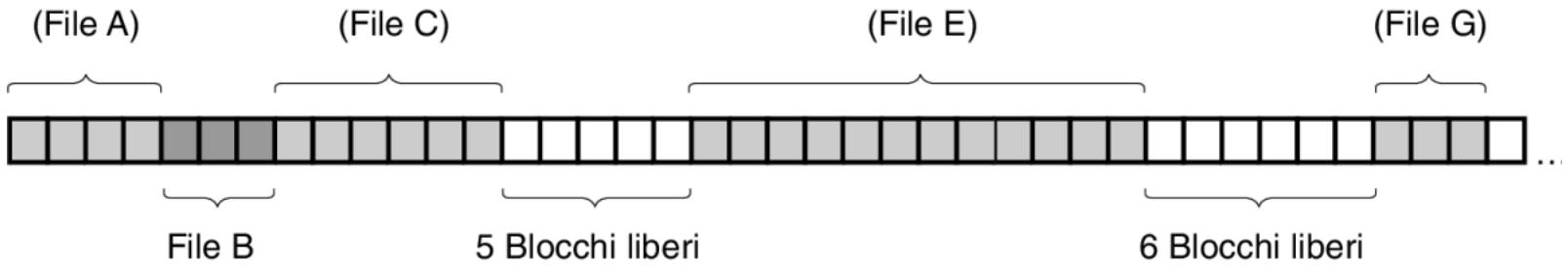
ALLOCAZIONE CONTIGUA NEL FILE SYSTEM

- **Concetto di Allocazione Contigua**:
  - I file sono memorizzati come **sequenze contigue di blocchi sul disco**.
  - **Esempio**: un file di 50 KB su un disco con blocchi da 1 KB occupa 50 blocchi consecutivi.
  - In basso: l'allocazione contigua di sette file su disco.
- **Implementazione e Vantaggi**:
  - **Semplice da implementare**: richiede solo l'indirizzo del primo blocco e il numero totale di blocchi.
  - **Alta efficienza di lettura**: l'intero file può essere letto in una sola operazione, senza ritardi.



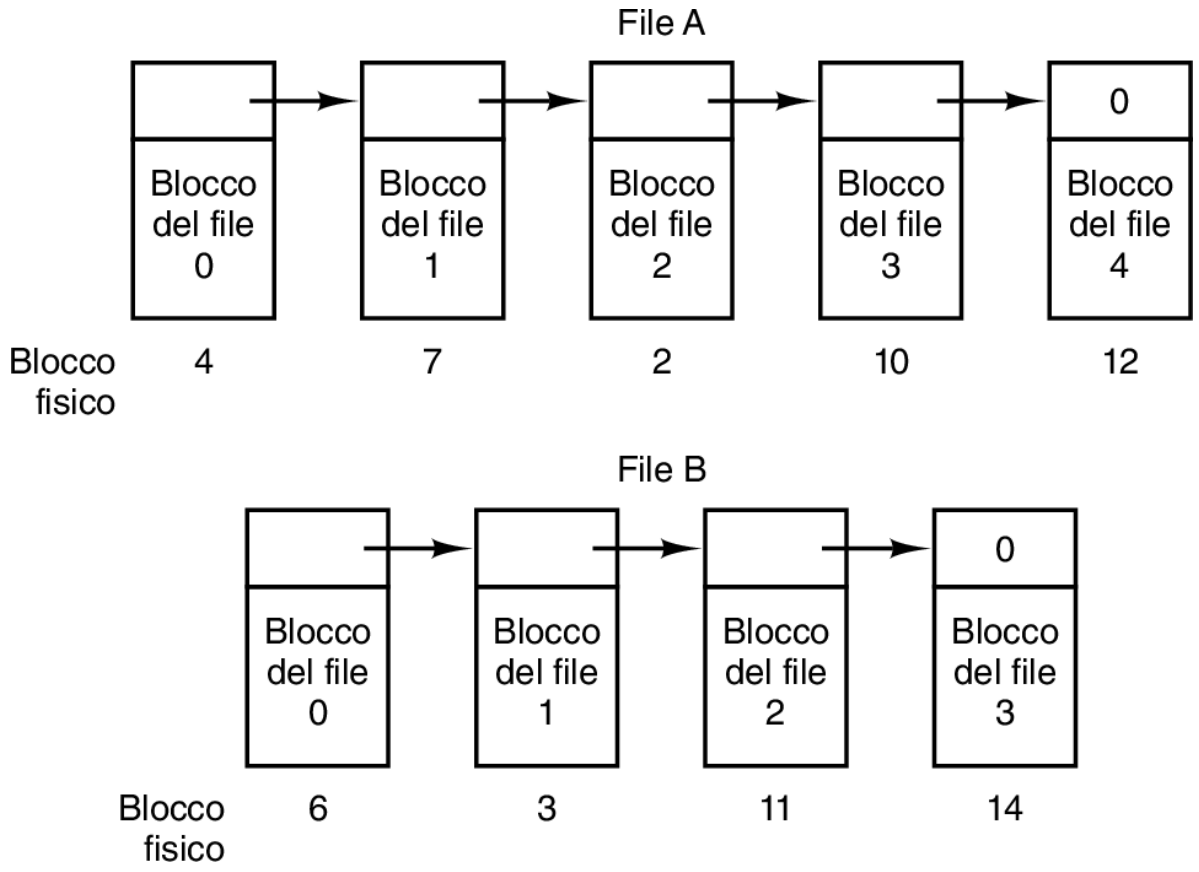
PROBLEMI E LIMITAZIONI DELL'ALLOCAZIONE CONTIGUA

- **Frammentazione del Disco**:
  - Col passare del tempo, **i dischi si frammentano** a causa della rimozione di file.
  - **In basso**: La frammentazione lascia intervalli di blocchi liberi
  - **Problema di allocazione di nuovi file in spazi liberi** frammentati.
- **Gestione dello Spazio Libero**:
  - Richiede una lista di spazi liberi e la conoscenza della dimensione finale dei nuovi file.
  - Problemi nella previsione della dimensione del file e nella ricerca di spazi adeguati.
- **Implicazioni Pratiche**:
  - Difficoltà nell'aggiungere nuovi file in un disco frammentato.
  - Necessità di compattazione del disco o di gestione intelligente dello spazio libero.



ALLOCAZIONE A LISTE CONCATENATE - CONCETTI BASE

- **Principio di Allocazione**:
  - I **file sono organizzati come liste concatenate di blocchi su disco**.
  - **Ogni blocco** contiene una parte di dati e **un puntatore al blocco successivo**.
- **Gestione dello Spazio**:
  - **Efficiente utilizzo di tutti i blocchi disponibili** sul disco.
  - **Minima frammentazione esterna**: riduce lo spreco di spazio non utilizzato.
- **Struttura delle Voci di Directory**:
  - Ogni **voce di directory** traccia solo **l'indirizzo del primo blocco** di un file.
  - Il **percorso** completo di un file è **costruito seguendo i puntatori** da un blocco all'altro.



ALLOCAZIONE A LISTE CONCATENATE - PRESTAZIONI E LIMITAZIONI

- **Accesso ai Dati**:
  - **Accesso Sequenziale: Leggere un file è efficiente**, procedendo blocco per blocco.
  - **Accesso Casuale (`seek`): Estremamente lento**, richiede la lettura sequenziale di ogni blocco precedente.
- **Dimensione dei Blocchi e Efficienza**:
  - **Ogni blocco ha una dimensione effettiva ridotta** a causa dello **spazio occupato dai puntatori**.
  - **Letture e scritture di dimensioni standard** (potenze di due) **possono essere meno efficienti**.
- **Implicazioni Pratiche**:
  - Il metodo offre un'elevata **efficienza** nello **sfruttamento dello spazio su disco** …
  - **MA** introduce **complessità** e rallentamenti nelle operazioni di **accesso casuale**.
  - **Adatto per** file a cui si **accede** principalmente **in modo sequenziale**.

ALLOCAZIONE A LISTE CONCATENATE CON FAT

- **Ottimizzazione dell'Allocazione a Liste Concatenate**:
  - Eliminazione degli svantaggi dell'allocazione a liste concatenate spostando i puntatori in una tabella di memoria (**FAT - File Allocation Table**).
  - Ogni blocco del disco è rappresentato come una voce nella FAT… **IN MEMORIA RAM**
- **Struttura della FAT**:
  - Contiene la sequenza dei blocchi di ciascun file.
  - Esempio:
    - File A utilizza i blocchi 4 => 7 => 2 => 10 => 12 (dove termina);
    - File B i blocchi 6 => 3 => 11 => 14 (dove termina).
  - Sequenze terminate da un indicatore speciale (es. -1) per marcare la fine.
  - In memoria principale
- **Vantaggi della FAT**:
  - L'intero blocco è disponibile per i dati, ottimizzando lo spazio.
  - Accesso casuale semplificato: la sequenza dei blocchi è interamente in memoria.

LIMITAZIONI E APPLICAZIONI DELLA FAT

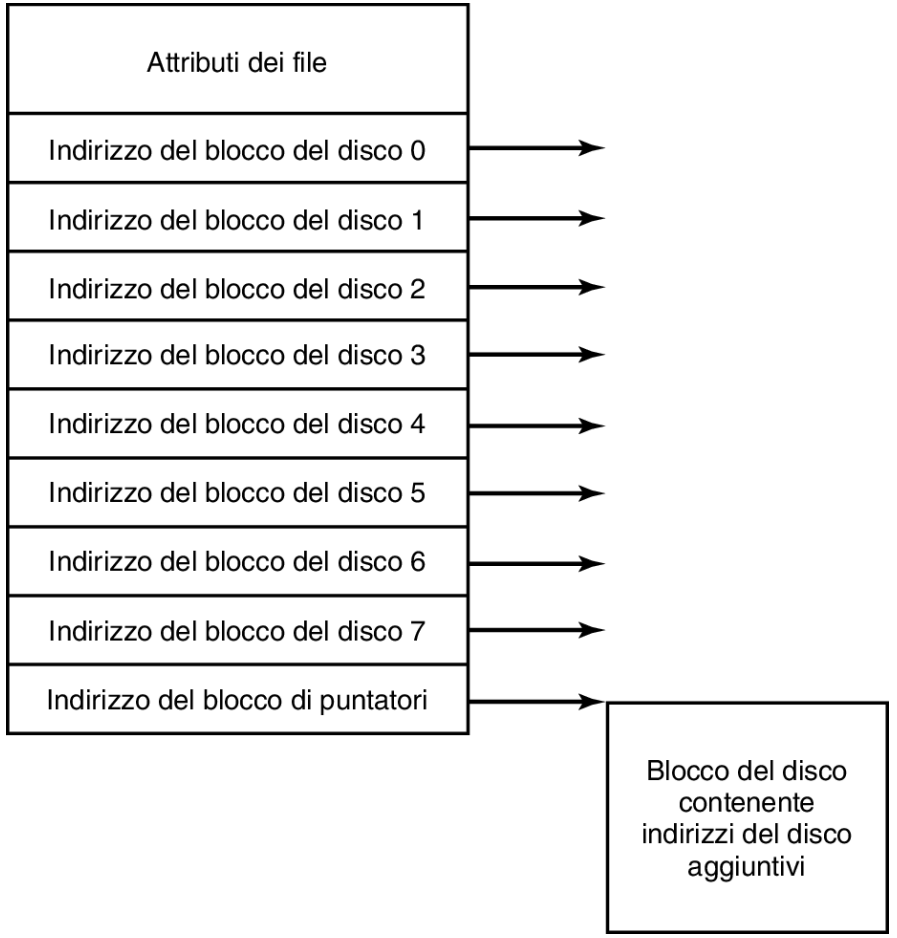
- **Gestione in Memoria**:
  - La FAT deve essere **mantenuta interamente in memoria principale**.
  - Richiede una quantità significativa di memoria: per un disco da 1 TB con blocchi da 1 KB, la FAT richiederebbe fino a 3 GB di RAM.
- **Implicazioni di Efficienza**:
  - Lo **spazio e la velocità influenzano la dimensione** della voce della FAT (da 3 a 4 byte per voce).
  - L'approccio non è ottimale per dischi di grandi dimensioni a causa dell'elevato consumo di memoria.
- **Utilizzo Pratico**:
  - Originariamente implementato in MS-DOS, ancora supportato da Windows e UEFI.
  - **Comunemente usato** in dispositivi portatili come **schede SD** in fotocamere, lettori musicali e altri dispositivi elettronici.

I-NODE

- **I-node (Index Node) nei File System UNIX-like**
  - **Definizione**: Struttura dati fondamentale nei file system come ext2/ext3/ext4 in Linux.
  - **Contenuto**: Contiene tutte le informazioni su un file, esclusi il nome e il contenuto. Include metadati come permessi, proprietario, timestamp e indirizzi dei blocchi di dati.
  - **Funzione**: Ogni file e directory è rappresentato da un I-node univoco, indicizzato in una tabella di I-node.
- **Confronto con FAT (File Allocation Table)**
  - **Gestione dei File**:
    - FAT si basa su una tabella di allocazione per tracciare i file, mentre i sistemi basati su I-node utilizzano una tabella di I-node.
    - I sistemi I-node separano le informazioni sul file dalla sua posizione fisica sul disco.
  - **Informazioni sui File**:
    - FAT fornisce meno dettagli sui file, concentrandosi principalmente sull'allocazione dello spazio.
    - I sistemi I-node offrono una gestione più dettagliata dei metadati, inclusi permessi e proprietà.
  - **Efficienza e Performance**:
    - I file system basati su I-node tendono a essere più efficienti e performanti, specialmente su dischi di grandi dimensioni, grazie alla loro struttura avanzata.

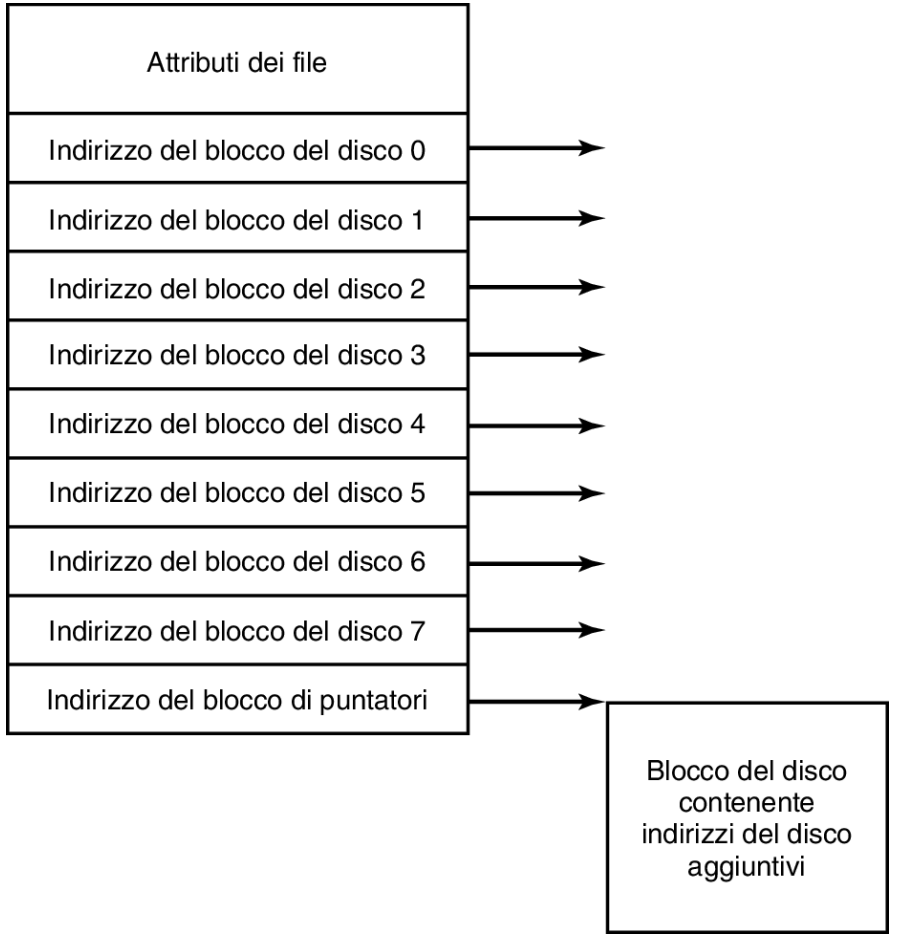
FUNZIONAMENTO E VANTAGGI DEGLI I-NODE

- **I-node (Index-Node) nei File System**
  - Gli I-node sono strutture dati che elencano gli attributi e gli indirizzi dei blocchi dei file.
  - Ogni I-node rappresenta un file, fornendo un metodo efficiente per trovare tutti i suoi blocchi di dati.
- **Efficienza della Memoria con I-node**
  - **Solo gli I-node dei file aperti sono mantenuti in memoria**, riducendo significativamente l'utilizzo della memoria.
  - L'array degli I-node in memoria è proporzionale al numero di file aperti, non alla dimensione del disco.
- **Esempio e Struttura**
  - Ogni I-node ha una dimensione fissa e contiene informazioni quali dimensione del file, permessi, proprietario, e indirizzi dei blocchi di dati.



GESTIONE DEI FILE DI GRANDI DIMENSIONI E CONFRONTO CON NTFS

- **Gestione File di Grandi Dimensioni**
  - Gli I-node hanno uno spazio limitato per gli indirizzi del disco.
  - Per file che superano il limite, uno degli indirizzi nell'I-node punta a un blocco contenente ulteriori indirizzi di blocchi di dati.
  - Questo sistema permette di gestire file di dimensioni molto grandi con efficacia.
- **I-node nei File System UNIX e Windows NTFS**
  - Gli I-node sono un concetto fondamentale in UNIX e nei suoi file system derivati.
  - NTFS, il file system di Windows, utilizza una struttura simile con I-node più grandi che possono contenere file di piccole dimensioni all'interno dell'I-node stesso.



IMPLEMENTAZIONE DELLE DIRECTORY

IMPLEMENTAZIONE DEL FILE SYSTEM

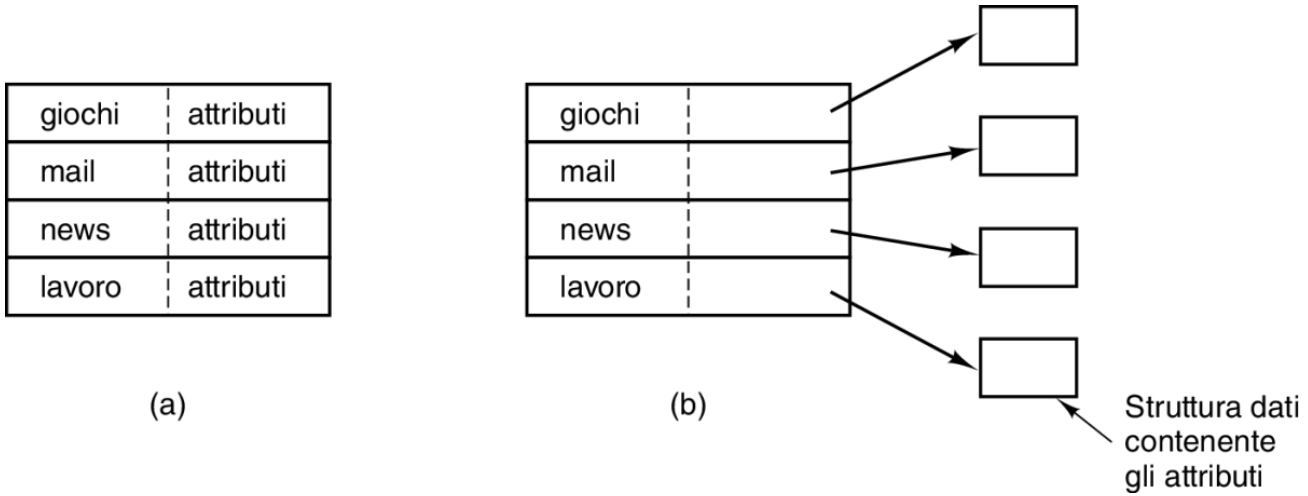
- Come memorizzare i file?
- **Come implementare le directory?**
- Come gestire lo spazio su disco?
- Come garantire le prestazioni del file system?
- Come garantire l'affidabilità del file system?

IMPLEMENTAZIONE DELLE DIRECTORY - CONCETTI DI BASE

- **Funzione Principale**: Le directory mappano i nomi ASCII dei file sulle informazioni necessarie per localizzare i dati su disco.
- **Metodi di Allocazione**: Variano a seconda del sistema operativo, includendo indirizzi di blocchi contigui, il primo blocco nelle liste concatenate, o i numeri degli I-node.

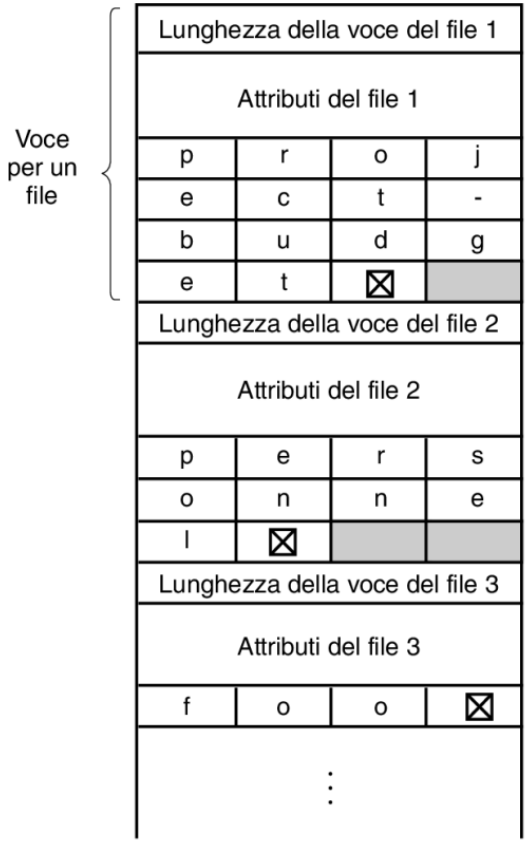
a) Una semplice directory contenente voci a dimensione fissa con gli indirizzi del disco e gli attributi nella voce della directory.

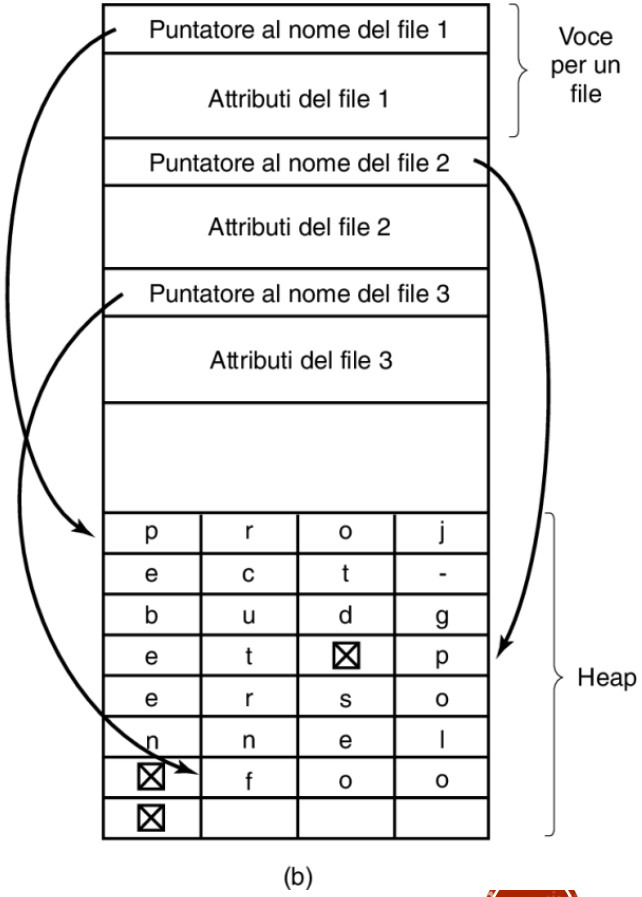
b) Una directory in cui ogni voce fa soltanto riferimento a un I-node.



IMPLEMENTAZIONE DELLE DIRECTORY - GESTIONE DEI NOMI DEI FILE

- **Nomi di File Variabili**: Supporto per nomi di file di lunghezza variabile, con un limite tipico di 255 caratteri.
- **Strutture di Directory**:
  a) **Voci di Directory di Lunghezza Variabile:** l'header di lunghezza fissa seguito dal nome del file.
  b) **Gestione degli Heap:** le voci di directory di lunghezza fissa con nomi dei file gestiti in uno heap separato.
- **Efficienza e Limitazioni**: gestiscono i nomi di lunghezza variabile ma presentano sfide
  - nella gestione degli spazi vuoti (un file viene cancellato)





OTTIMIZZAZIONE DELLA RICERCA NELLE DIRECTORY CON TABELLE DI HASH

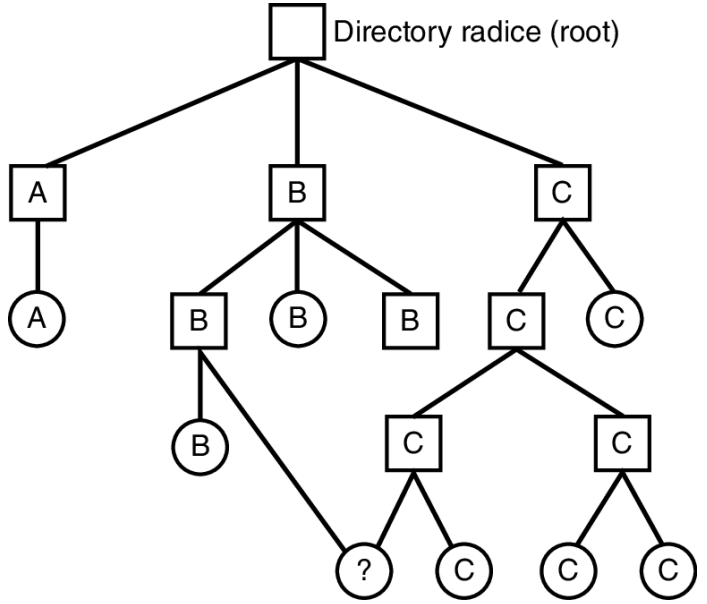
- **Ricerca Lineare Tradizionale**:
  - Inizialmente, i file in una directory venivano cercati linearmente dall'inizio alla fine.
  - Questo metodo può diventare lento in directory con un gran numero di file.
- **Uso delle Tabelle di Hash**:
  - Introduzione di tabelle di hash in ogni directory per accelerare il processo di ricerca.
  - Il nome di un file è sottoposto a hashing per generare un indice nell'intervallo da 0 a n-1.
  - La voce corrispondente nella tabella di hash indica il punto di partenza per la ricerca del file.
- **Gestione delle Collisioni**:
  - Creazione di liste concatenate per gestire più file che condividono lo stesso valore hash.
  - La ricerca verifica tutte le voci nella catena per trovare il file desiderato.

GESTIONE DELLA CACHE PER RICERCHE EFFICIENTI

- **Caching delle Ricerche**:
  - Salvataggio dei risultati di ricerche comuni nella cache per accesso rapido.
  - Prima di avviare una ricerca, si verifica se il file si trova nella cache.
- **Vantaggi e Limitazioni**:
  - La cache aumenta l'efficienza delle ricerche, specialmente per file frequentemente richiesti.
  - Efficace quando la maggior parte delle ricerche riguarda un numero limitato di file.
- **Complessità Amministrativa**:
  - L'uso di tabelle di hash e cache introduce una maggiore complessità nella gestione delle directory.
  - Più adatto a sistemi con directory molto estese, dove si prevede un elevato numero di file.

FILE CONDIVISI E LINK NEI FILE SYSTEM

- **File Condivisi**: Essenziali in ambienti collaborativi per permettere a più utenti di lavorare sugli stessi file.
- **Tipi di Link**:
  - **Hard Link**: Puntano direttamente all'I-node di un file condiviso.
  - **Link Simbolico (Soft Link)**: Puntano al nome di un file piuttosto che all'I-node.
- **Gestione degli Hard Link**:
  - Un file con hard link **viene rimosso solo quando non ci sono più riferimenti ad esso**.
  - **Efficienza di spazio**: una sola voce di directory per ciascun hard link.
  - **Ideali** per la **gestione di file condivisi** tra più proprietari.



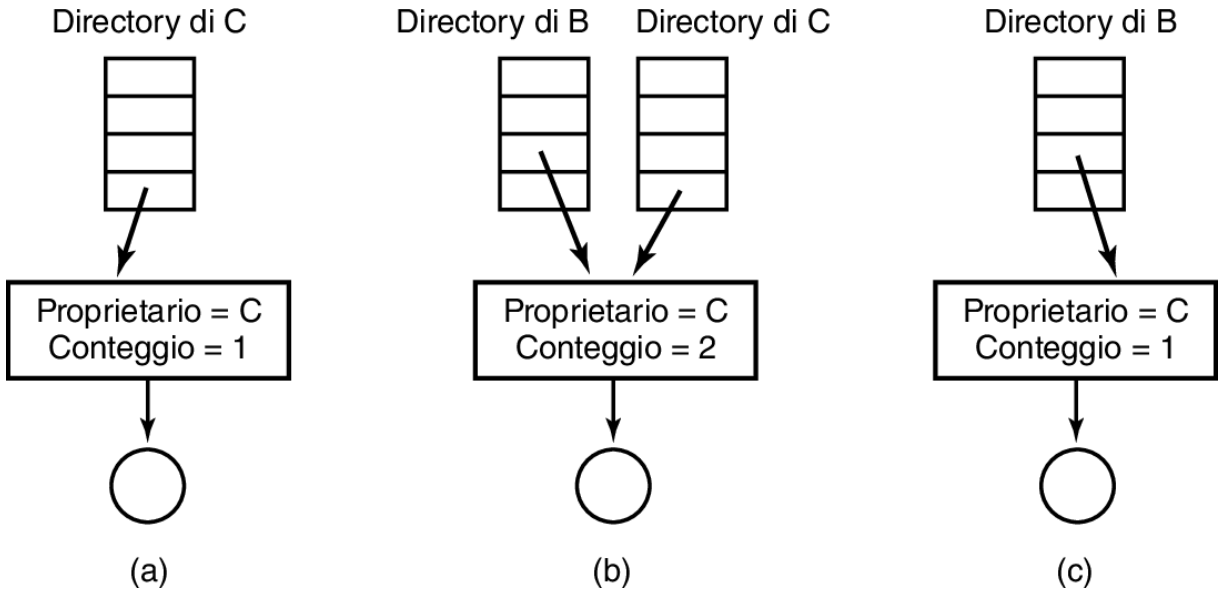
File condiviso

Un file system con un file condiviso tra due utenti.

- Esempio: Un file di un utente può essere presente anche nella directory di un altro.

GESTIONE E PROBLEMI DEI FILE CONDIVISI: HARD LINKS

- **Vantaggi degli Hard Link**:
  - **Spazio-efficienti**: usano un solo I-node indipendentemente dal numero di link.
  - Gestione trasversale degli utenti: il file rimane accessibile finché almeno un hard link è presente.
- **Problemi e Limitazioni**:
  - Il file permane fino all'eliminazione di tutti gli hard link, **potenzialmente causando confusione sulla proprietà del file**.
  - **A destra**: Illustrano come i file condivisi sono gestiti nel file system e le implicazioni dell'eliminazione di hard link.



a) Situazione prima del link.
b) Dopo la creazione del link.
c) Dopo che il proprietario originale elimina il file.

GESTIONE E PROBLEMI DEI FILE CONDIVISI: LINK SIMBOLICI

- **Vantaggi dei Link Simbolici:**
  - **Maggiore flessibilità:** possono riferirsi a nomi di file oltre i confini del file system e su macchine remote.
  - **Meno efficienti in termini di spazio**: richiedono un I-node per ogni link simbolico.
- **Problemi e Limitazioni:**
  - Link simbolici **diventano invalidi** alla rimozione del file originale.
  - **Overhead maggiore** nella risoluzione del percorso rispetto agli hard link.
  - **Gestione più complessa**, ma con benefici in termini di flessibilità e organizzazione.
- **Problemi Comuni:**
  - **I file** con più percorsi possono essere **processati più volte da programmi di backup** o di ricerca.
    - Rischio di **duplicazione dei file** su unità di backup.
  - Necessità di software avanzato per gestire correttamente i file condivisi e i loro link.

PRINCIPI E FUNZIONAMENTO DEI FILE SYSTEM CON JOURNALING

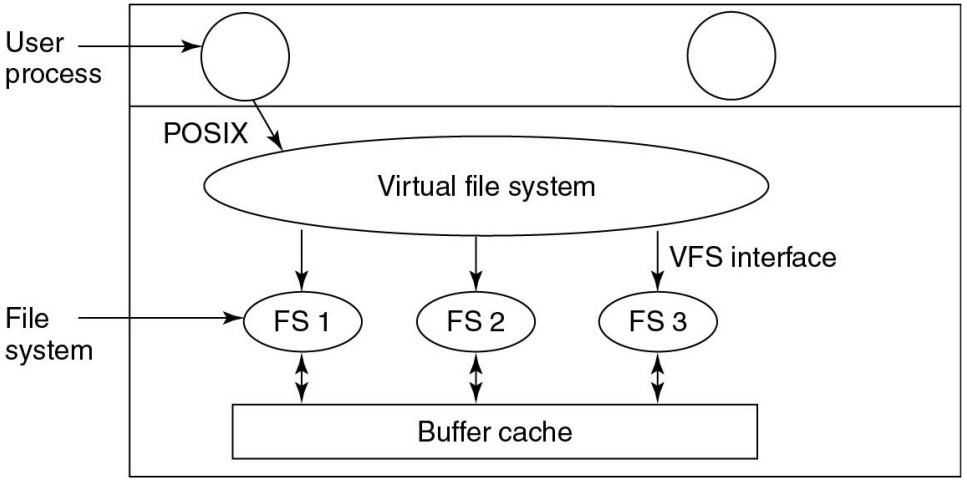
- **Definizione e Scopo**
  - **File system con journaling**: **Registra anticipatamente le operazioni da eseguire in un log, per garantire la coerenza in caso di crash**.
  - **Utilizzo**: Ampio uso in file system come NTFS (Microsoft), ext4 e ReiserFS (Linux), e opzione predefinita in macOS.
- **Esempio di Operazione: Eliminazione di un File**
  - **Processo in UNIX**: Rimozione dal file dalla directory, rilascio dell'I-node, restituzione dei blocchi al pool dei blocchi liberi.
  - **Problemi in caso di crash**: Perdita di accesso agli I-node e ai blocchi, o assegnazione errata di I-node e blocchi.
- **Cos'è il Journal**
  - Un journal in un file system è come un **registro che tiene traccia delle modifiche che verranno apportate** al file system prima che esse avvengano effettivamente.

STRUTTURA E FUNZIONAMENTO DEL JOURNAL NEI FILE SYSTEM

- **Come Funziona**
  1. **Fase di Registrazione**: Prima di eseguire qualsiasi modifica (come la creazione o la cancellazione di un file), il file system scrive un record nel journal.
     - Questo record **descrive l'operazione che verrà eseguita.**
  2. **Fase di Esecuzione**: Dopo aver registrato l'operazione, il file system procede con la modifica effettiva dei dati sul disco.
  3. **Fase di Conferma**: Una volta completata l'operazione, il file system aggiorna il journal per indicare che l'azione è stata completata con successo.
- Se si verifica un crash del sistema prima che una modifica sia completata, **al riavvio successivo il file system consulta il journal.**
  - Se trova **operazioni registrate ma non confermate, procede a completarle**. Questo assicura che le modifiche parziali non lascino il file system in uno stato incoerente.
- **Vantaggi del Journaling**
  - **Integrità dei Dati**: Il journaling **riduce la possibilità di corruzione del file system in caso di crash inaspettato**, assicurando che tutte le operazioni siano completate o nessuna.
  - **Recupero Rapido**: Riduce significativamente il tempo di recupero dopo un crash, poiché il file system sa esattamente quali operazioni completare o annullare.

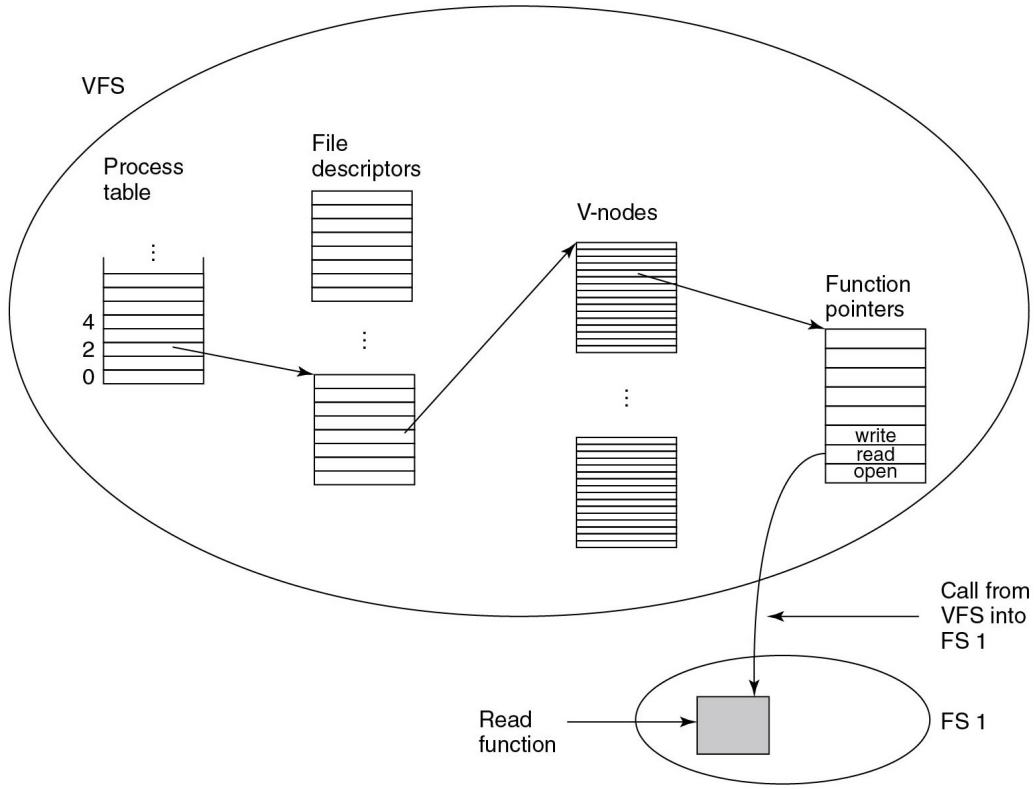
INTRODUZIONE AI FILE SYSTEM VIRTUALI

- **Diversità dei File System**:
  - **Sistemi operativi moderni gestiscono diversi file system** (NTFS, FAT-32, FAT-16, ecc.) simultaneamente.
  - Windows utilizza lettere di unità (C:, D:, ecc.) per gestire file system differenti.
  - **Sistemi UNIX tentano di integrare più file system in una singola struttura gerarchica**.
- **VFS (Virtual File System)**:
  - Struttura che **permette di integrare vari file system in una struttura unificata**.
  - Si basa su **un livello di codice comune che interagisce con i file system reali sottostanti**.
  - Gestisce file system locali e remoti, come quelli in NFS (Network File System).
- **Interfacce del VFS**:
  - **Interfaccia superiore:** Interagisce con le chiamate di sistema POSIX dei processi utente (es. `open`, `read`, `write`).
  - **Interfaccia inferiore:** Composta da decine di funzioni che il VFS può inviare ai file system sottostanti.



FUNZIONAMENTO E STRUTTURA DEL VFS: CONCETTI CHIAVE

- **Superblock nel VFS**: Rappresenta il descrittore di alto livello di un file system specifico nel VFS.
  - informazioni cruciali sul file system, come il tipo, la dimensione
  - usato per identificare e interagire con il file system sottostante, facilitando l'accesso e la gestione delle sue risorse.
- **V-node nel VFS**: Astrazione di un file individuale all'interno del VFS, rappresentando un nodo nel file system virtuale.
  - **Contiene metadati** come permessi, proprietà, dimensione del file e riferimenti ai dati effettivi sul disco.
  - Il VFS sfrutta i **v-node per fornire un accesso indipendente dal file system ai file**, permettendo operazioni di lettura, scrittura e gestione dei file attraverso vari file system.
- **Directory nel VFS**: Struttura che gestisce l'organizzazione e il mapping dei file e delle sottodirectory all'interno del VFS.
  - **Permette al VFS di mappare i nomi dei file ai loro v-node** corrispondenti, indipendentemente dal file system in cui si trovano.
  - Facilita la navigazione e l'accesso ai file, consentendo agli utenti e ai processi di interagire con un'interfaccia unificata



AGGIUNTA DI NUOVI FILE SYSTEM E VANTAGGI DEL VFS

- **Registrazione dei File System con il VFS:** File system forniscono un vettore di funzioni richieste dal VFS al momento della registrazione.
  - Permette al VFS di sapere come eseguire specifiche operazioni su un file system registrato.
- **Montaggio e Uso del File System**: Al **montaggio**, file system fornisce informazioni al VFS (es. superblock).
  - **Esempio**: apertura di un file in `/usr` con un file system montato su `/usr`.
  - **Creazione di un v-node e mappatura di operazioni specifiche del file system reale**.
- **Gestione delle Richieste di I/O**: Tracciamento dei file aperti nei processi utente tramite v-node e tabelle dei descrittori dei file.
  - Chiamate come `read` seguono il puntatore dalla tabella dei descrittori ai v-node e alle funzioni del file system reale.
- **Aggiunta di Nuovi File System**: Relativamente semplice aggiungere nuovi file system.
  - Progettisti devono fornire funzioni che rispettino l'interfaccia VFS.
  - Il VFS rende possibile la gestione trasparente di file system eterogenei.