PROBLEMI DI PROGETTAZIONE E IMPLEMENTAZIONE PER SISTEMI DI PAGING

Danilo Croce

Novembre 2023

GESTIONE DELLA MEMORIA: OUTLINE

- Memory Abstraction
- Virtual Memory
- Algoritmi di sostituzione delle pagine
- **Problemi di Progettazione per Sistemi di Paging**

CONSIDERAZIONI NELLA PROGETTAZIONE DI SISTEMI DI PAGINAZIONE

- La paginazione è un processo complesso che richiede una comprensione approfondita di molteplici aspetti per una progettazione efficace.
- **Altri Aspetti Cruciali**
  - **Allocazione della Memoria**
    - Scelta tra **allocazione globale VS locale** oppure **allocazione equa vs proporzionale** e come questa influisce sulla gestione delle risorse e sulle prestazioni del sistema.
  - **Gestione dei Page Fault:**
    - **Monitoraggio** della frequenza dei page fault **per ottimizzare l'uso e allocazione della memoria** e ridurre i tempi di attesa.
  - **Ottimizzazione delle Prestazioni:** Valutare le prestazioni del sistema di paginazione per massimizzare l'efficienza
    - Esempio: «*quando deve essere grande una pagina?*», «*come limitare l'uso della memoria per i processi?*»
  - **Decisioni di Progettazione:** Considerare fattori come la dimensione del set di lavoro, il comportamento dei processi, e la località dei riferimenti alla memoria per scegliere l'algoritmo più adatto.

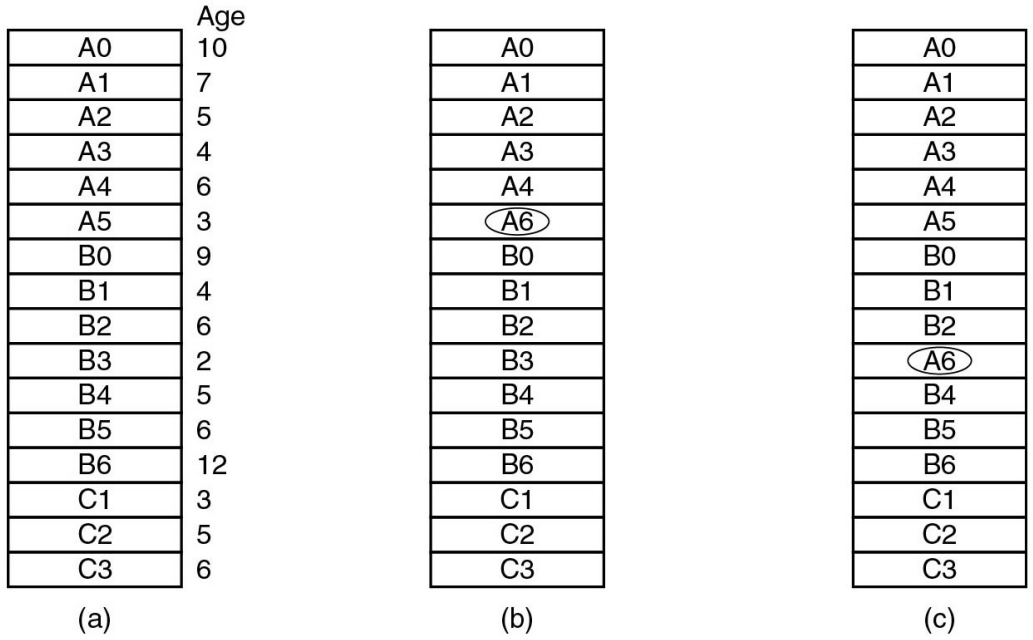
«PROBLEMI» DI PROGETTAZIONE

I PROBLEMI DI PROGETTAZIONE PIÙ COMUNI

- Allocazione Globale VS Locale
- Allocazione Equa VS Proporzionale
- Dinamica di Allocazione delle pagine
- Policy di pulizia
- Dimensione delle pagine
- Istruzioni separate e spazi dei dati
- Pagine e Librerie condivise
- File mappati in memoria

ALLOCAZIONE DI MEMORIA IN SISTEMI DI PAGINAZIONE: GLOBALE VS LOCALE

- **Allocazione Locale**
  - Ogni processo riceve una porzione fissa della memoria.
  - Semplice da implementare, ma può portare a inefficienze se il set di lavoro del processo.
- **Allocazione Globale**
  - Distribuzione dinamica della memoria tra i processi.
  - Più efficace per adattarsi alle esigenze variabili dei processi, ma richiede una gestione più complessa.
- **Esempio Pratico**
  - In Figura la differenza tra sostituzione locale (solo pagine del processo A) e globale (pagine di tutti i processi).



Il processo A ha bisogno di allocare una pagina per A6

Allocazione Locale: è possibile rimuovere solo pagine del processo A

Allocazione Globale: è possibile rimuovere pagine di qualsiasi processo

VANTAGGI DELL'ALLOCAZIONE GLOBALE DELLA MEMORIA

- **Adattabilità degli Algoritmi Globali:**
  - Gli algoritmi globali di sostituzione delle pagine si adattano meglio alle esigenze variabili dei processi.
  - Aumentano **l'efficienza quando la dimensione del set di lavoro varia nel tempo**.
- **Limiti degli Algoritmi Locali:**
  - Il **thrashing** può verificarsi con algoritmi locali **se il set di lavoro di un processo cresce oltre la memoria** allocata.
  - **La memoria può essere sprecata** quando il set di lavoro di un processo si riduce e la memoria non viene riassegnata.
- **Gestione Dinamica della Memoria:**
  - Con l'allocazione globale, il sistema operativo **deve dinamicamente assegnare e riassegnare frame ai processi**.
  - E' possibile **utilizzare i bit di aging per monitorare la frequenza di accesso delle pagine**, anche se questo potrebbe non essere sufficiente per prevenire il thrashing.
- **Sfide del Monitoraggio del Set di Lavoro:**
  - I bit di aging forniscono una **stima approssimativa**, che potrebbe non riflettere cambiamenti rapidi nel set di lavoro.
  - È fondamentale che il sistema di paginazione possa reagire in modo agile ai cambiamenti delle esigenze di memoria.

STRATEGIE DI ALLOCAZIONE DELLA MEMORIA NEI SISTEMI DI PAGINAZIONE

- **Allocazione Equa vs Proporzionale:**
  - **Allocazione Equa:**
    - Distribuzione uniforme dei frame tra i processi.
    - Esempio: `12.416` frame divisi equamente tra `10` processi risultano in `1.241` frame per processo.
    - **Svantaggi**: Non tiene conto delle diverse esigenze di memoria tra processi di dimensioni varie.
  - **Allocazione Proporzionale:**
    - Assegnazione di frame in base alla dimensione del processo.
    - Rispecchia meglio le necessità di memoria, evitando allocazioni inadeguate.
- **Importanza del Limite Minimo di Pagine:**
  - Assicurare che **ogni processo abbia abbastanza pagine** per eseguire le operazioni fondamentali.
  - **MA prevenire situazioni** in cui processi con istruzioni che **attraversano i limiti** delle pagine non possano eseguire.

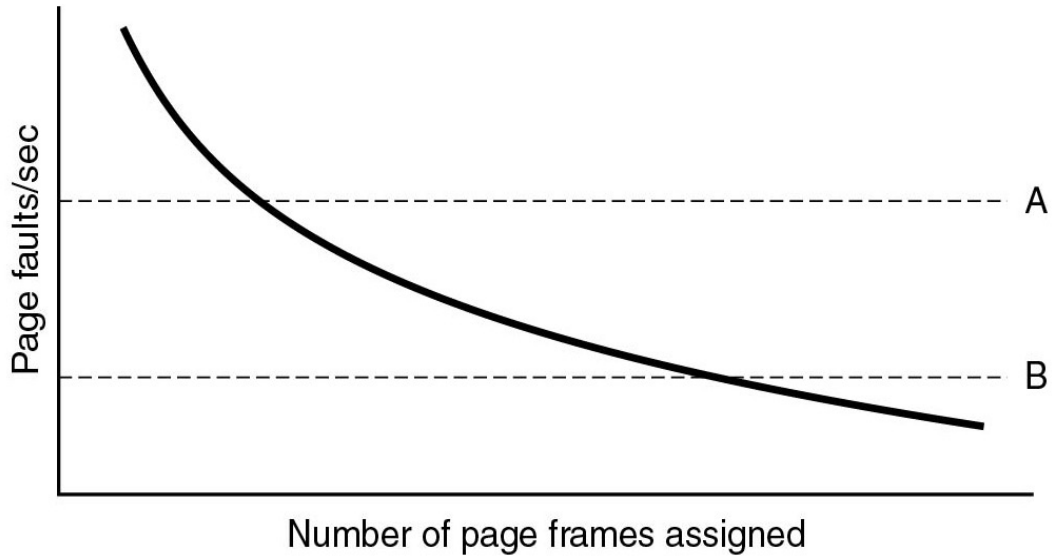
DINAMICA DI ALLOCAZIONE E ALGORITMO PAGE FAULT FREQUENCY (PFF)

- **Gestione Dinamica dei Frame:**
  - Inizio con un'allocazione proporzionale alla dimensione del processo.
  - Aggiornamento dinamico dell'allocazione in base all'evoluzione delle esigenze durante l'esecuzione.
- **Page Fault Frequency (PFF):**
  - **Monitoraggio della frequenza dei page fault per regolare l'allocazione di memoria** di un processo.
  - Aumenta i frame se i page fault sono troppo frequenti, diminuisce se sono rari.
  - Non specifica quale pagina rimuovere, focalizzandosi sulla dimensione dell'allocazione.

RELAZIONE TRA ALLOCAZIONE DI MEMORIA E PAGE FAULT

- **Relazione tra Frame Assegnati e Page Fault:**
  - Secondo algoritmi come LRU, più pagine vengono assegnate a un processo, meno frequenti saranno i page fault.
  - La frequenza di page fault diminuisce man mano che aumenta il numero di frame assegnati.

- **Monitoraggio della Frequenza dei Page Fault:**
  - Si contano i page fault per secondo e si utilizza una media mobile per tenere traccia delle fluttuazioni.
    A. **Alta frequenza di page fault indica necessità** di più frame.
    B. **Bassa frequenza** di page fault suggerisce che **il processo ha più memoria del necessario**.



GESTIONE DEL THRASHING E CONTROLLO DEL CARICO DI MEMORIA

- **Thrashing in Presenza di Allocazione Ottimale:**
  - Anche con il miglior algoritmo, **il thrashing purtroppo può sempre verificarsi** se i set di lavoro di tutti i processi eccedono la memoria disponibile.
  - Il PFF può segnalare una richiesta collettiva di più memoria senza che nessun processo possa cedere frame.
- **Strategie di Mitigazione:**
  - **Out Of Memory Killer (OOM):**
    - Processo di sistema che seleziona e termina i processi in base a un punteggio di "cattiveria" per liberare memoria.
    - Processi con elevato utilizzo di memoria o minor importanza sono tipicamente selezionati.
  - **Swapping (Scambio):**
    - Meno drastico dell'OOM Killer, sposta i processi su memoria non volatile, liberando le loro pagine per altri processi.
    - Può ridurre la richiesta di memoria senza interrompere l'esecuzione dei processi.

SCHEDULING A DUE LIVELLI E TECNICHE DI RIDUZIONE DI MEMORIA

- **Scheduling a Due Livelli**:
  - **alcuni processi sono in memoria non volatile** e solo una parte è schedulata attivamente
  - aiuta a **gestire meglio il carico** di memoria.
  - utile per ridurre occupazione di memoria di **processi in background in sistemi interattivi**
- **Gestione della Multiprogrammazione**:
  - La selezione dei processi da spostare considera anche caratteristiche:
    - Sono processi CPU bound o I/O bound
    - Qual è la dimensione e/o frequenza di paginazione dei processi
- **Altre Tecniche**:
  - Oltre a «uccidere» o spostare processi, si possono usare **compattamento**, **compressione** e **deduplicazione** (same page merging).

POLICY DI PULIZIA E PAGING DAEMON

- **Contesto**: La policy di **pulizia è un aspetto critico** nella gestione della memoria.
- **Aging e Frame Liberi**: L'aging è più efficace con molti frame di pagina liberi disponibili.
  - Se i frame sono tutti occupati e modificati, occorre scrivere le vecchie pagine in memoria non volatile prima di caricarne di nuove.
  - È **preferibile mantenere un buon numero di frame di pagina liberi** piuttosto che occupare tutta la memoria e cercare frame liberi solo al bisogno.
- **Paging Daemon**: Un processo in background usato dai sistemi di paginazione
  - **Inattivo per la maggior parte del tempo**, si attiva periodicamente per controllare lo stato della memoria.
  - Quando i frame liberi scarseggiano, inizia a selezionare pagine da rimpiazzare utilizzando un algoritmo di sostituzione delle pagine.

POLICY DI PULIZIA E PAGING DAEMON (2)

- **Scrittura in Memoria Non Volatile**: Se le pagine sono state modificate, vengono scritte in memoria non volatile.
  - I contenuti precedenti delle pagine vengono conservati, permettendo un eventuale rapido ripristino.
- **Implementazione con «Clock a Due Lancette»**
  - La **lancetta anteriore** (gestita dal paging daemon) **avanza scrivendo le pagine sporche in memoria non volatile** e procede senza azioni ulteriori sulle pagine pulite.
  - La lancetta posteriore si occupa della sostituzione delle pagine
    - maggiore probabilità di trovare pagine pulite (grazie al lavoro del paging daemon).

DIMENSIONE DELLE PAGINE E BILANCIO DEI FATTORI

- **Selezione Dimensione Pagine**: I sistemi operativi possono selezionare la dimensione delle pagine
  - Esempio: unendo due pagine da 4096 byte per formarne una da 8 KB.
- **Fattori a Favore di Pagine Piccole**: Riducono la frammentazione interna (spazio sprecato nelle pagine parzialmente vuote) e l'utilizzo di memoria
  - un programma potrebbe richiedere meno memoria con pagine più piccole.
- **Svantaggi delle Pagine Piccole**: Richiedono **tabelle delle pagine più grandi** (più voci) e possono aumentare il tempo e lo spazio necessario per il trasferimento di dati e la gestione della memoria.

DIMENSIONE OTTIMALE DELLE PAGINE E THP

- **Dimensione Ottimale**: Determinata equilibrando frammentazione interna (favorevole a pagine più grandi) e overhead della tabella delle pagine (favorevole a pagine più piccole).
  - Vedi slide successiva
- **Pagine di Diverse Dimensioni**: Alcuni sistemi operativi utilizzano pagine di diverse dimensioni per parti diverse del sistema (ad es., pagine grandi per il kernel).
- **Transparent Huge Pages (THP)**: Tecnica per utilizzare pagine di grandi dimensioni ottimizzando l'uso della memoria, spostando la memoria del processo per creare intervalli contigui.

CALCOLO DELLA DIMENSIONE OTTIMALE DELLE PAGINE

- **Parametri Considerati**:
  - Dimensione media del processo: s byte (esempio 1MB).
  - Dimensione della pagina: p byte (da calcolare).
  - Dimensione di ogni voce nella tabella delle pagine: e byte (esempio 4 o 8 byte).
- **Calcolo Overhead**:
  - Numero di pagine per processo: $\approx s/p$.
  - Spazio occupato nella tabella delle pagine: $s \cdot e / p$ byte.
  - Memoria sprecata per frammentazione interna nell'ultima pagina: $p/2$.
    - **Fenomeno dell'Ultima Pagina:** Per qualsiasi processo, l'ultima pagina di memoria allocata potrebbe non essere completamente riempita. Esempio: un processo richiede 10.5 KB di memoria la pagina è di 4 KB, il sistema dovrà allocare 3 pagine lasciando 1.5 KB di spazio inutilizzato nell'ultima pagina.
- **Overhead totale**: $se/p + p/2$:
  - Il primo termine (tabella delle pagine) aumenta con pagine più piccole.
  - Il secondo termine (frammentazione interna) aumenta con pagine più grandi.
  - L'**ottimo si trova bilanciando questi due fattori**.

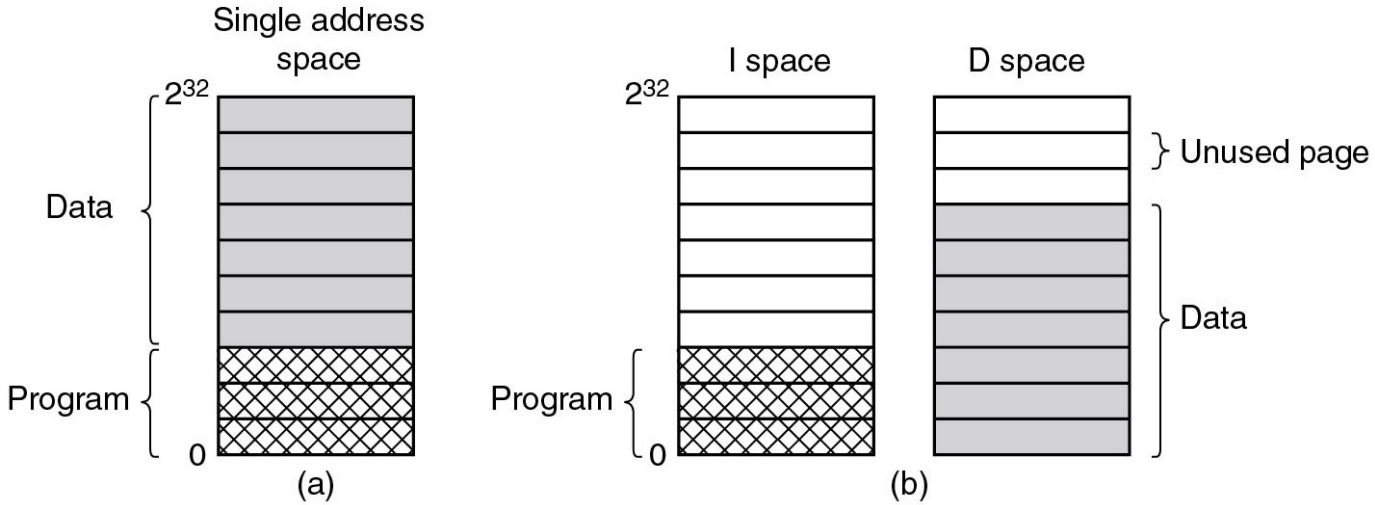
CALCOLO DELLA DIMENSIONE OTTIMALE DELLE PAGINE (2)

Overhead totale: $se/p + p/2$

- **Formula per la Dimensione Ottimale delle Pagine**:
  - Derivata della funzione di overhead rispetto a p uguagliata a zero: $-se/p^2 + ½ = 0$.
  - Dimensione ottimale delle pagine: $p=\sqrt{2se}$.
  - Esempio: Per s = 1 MB e e = 8 byte, p ottimale è 4 KB.
- **Variazione nelle Dimensioni delle Pagine**:
  - Gamma tipica in computer commerciali: da 512 byte a 64 KB.
  - Dimensione comune attuale: 4 KB

PROBLEMI DI PROGETTAZIONE: SPAZI SEPARATI PER ISTRUZIONI E DATI

- La maggior parte dei computer ha un unico spazio di indirizzamento condiviso da programma e dati. In passato alcuni sistemi avevano uno spazio di indirizzamento separato per istruzioni e dati.



- Al giorno d'oggi si vedono ancora spazi Istruzioni e Dati separati nelle cache, nei TLB, Cache L1
  - Dove lo spazio è poco, si tende a separare istruzioni (più importanti) dai dati.

CONDIVISIONE DELLE PAGINE NEI SISTEMI MULTIPROGRAMMATI

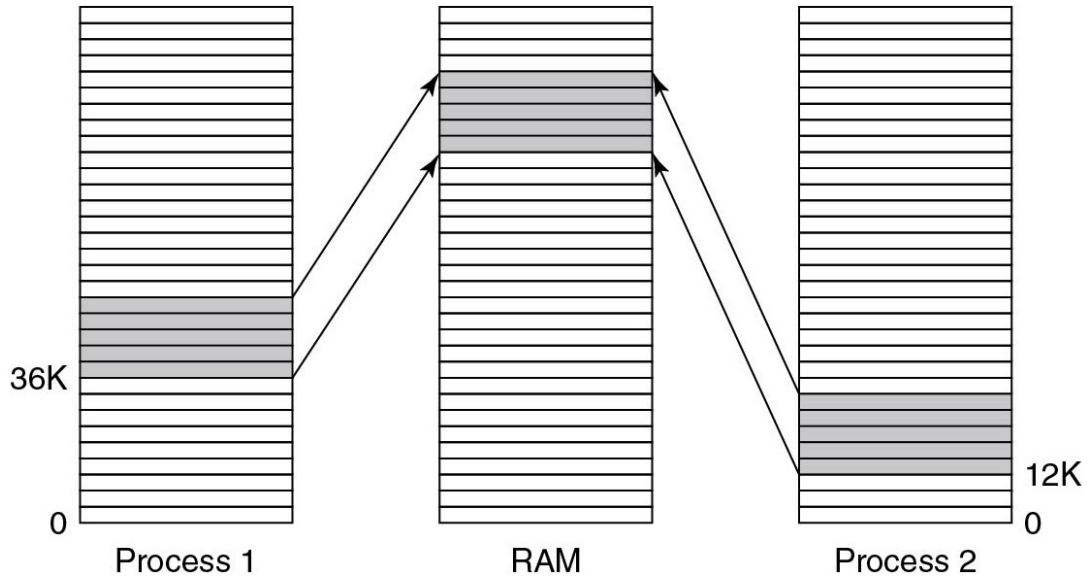
- **Motivazione della Condivisione**
  - E' comune che **molti utenti eseguano lo stesso programma** o **utilizzino le stesse librerie**.
  - **Condividere pagine di memoria** tra questi processi è più **efficiente** che mantenerne copie separate.
- **Tipi di Pagine Condivisibili**
  - Le **pagine di sola lettura**, come il testo dei programmi: **SI**
  - Le pagine dei dati: generalmente **NO**
- Per facilitare la condivisione è meglio separare spazi di indirizzo in:
  - I-space: Istruzioni
  - D-space: Dati
- **Processi diversi** possono utilizzare la **stessa tabella delle pagine per l'I-space** ma tabelle diverse per il D-space.
  - **Implementazione e Scheduling**: con ciascun processo ha puntatori sia all'I-space che al D-space.
  - Lo scheduler utilizza questi puntatori per impostare l'MMU.

NON E' TUTTO ORO: GESTIONE DELLE PAGINE CONDIVISE E COPY ON WRITE

- **Problemi con Pagine Condivise**
  - La **rimozione di un processo** da memoria può causare **numerosi page fault in un altro processo** che condivide le stesse pagine.
  - È cruciale sapere se le pagine sono ancora in uso per evitare la loro liberazione accidentale.
- **Condivisione dei Dati**: Più complessa rispetto alla condivisione del codice!
  - Ad esempio, in UNIX, dopo una `fork`, genitore e figlio condividono sia il testo che i dati, inizialmente come sola lettura.
- **Copy on Write (Copia in Caso di Scrittura)**: Se un processo modifica i dati, si genera una trap, e viene creata una copia della pagina modificata.
  - Entrambe le copie diventano poi modificabili (READ/WRITE).
  - **Questo metodo evita la copia di pagine che non vengono mai modificate.**
  - Estremamente efficiente per evitare la proliferazione di pagine

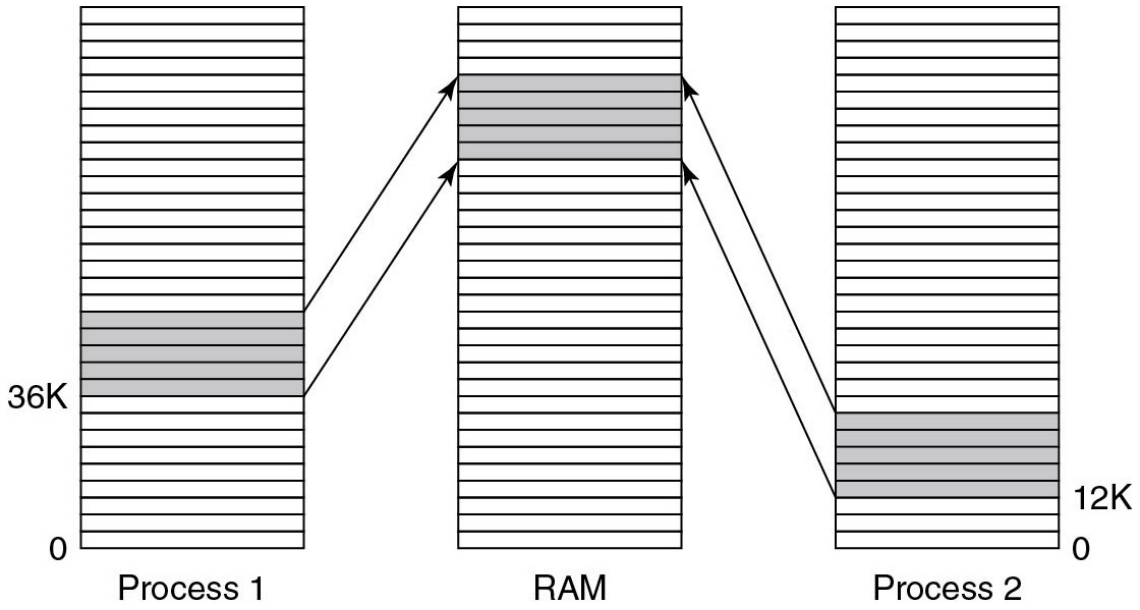
LIBRERIE CONDIVISE - PRINCIPI E FUNZIONAMENTO

- **Condivisione su Ampia Scala**:
  - I SO condividono automaticamente tutte le pagine di testo di un programma avviato più volte.
  - Per evitare problemi, meglio pagine in sola lettura
- **Copy on Write per Dati**: Se un processo modifica una pagina di dati condivisa, occorre applicare "*copy on write*".
- **Librerie condivise - Dynamic Link Libraries (DLLs)**: Usate per ridurre l'ingombro di grandi librerie comuni.
  - **Vantaggi**: Risparmio di spazio



LIBRERIE CONDIVISE - PRINCIPI E FUNZIONAMENTO

- **Problema di Indirizzamento:** Le librerie condivise possono essere posizionate a indirizzi diversi nei vari processi.
  - Questo **impedisce l'uso di indirizzi assoluti** nelle istruzioni.
- **Soluzione Compilativa:** Le librerie condivise vengono **compilate con indirizzi relativi** anziché assoluti.
  - le istruzioni usano offset relativi piuttosto che puntare a indirizzi specifici.



FILE «MAPPATI» IN MEMORIA E IL LORO IMPIEGO

- **Concetto**: I file mappati consentono a un processo di mappare un file all'interno del proprio spazio di indirizzi virtuali.
  - **Funzionamento**: Alla mappatura, **nessuna pagina viene caricata immediatamente**.
    - Sono paginate su richiesta dalla memoria non volatile, man mano che vengono "toccate"
  - **Scrittura su File**: Quando il **processo termina** o la mappatura è eliminata, **tutte le pagine** modificate vengono **riscritte sul file**.
- **Modello I/O Alternativo**: Offre un modo diverso di eseguire I/O, permettendo di accedere al file come se fosse un grande array di caratteri in memoria.
- **Comunicazione tra Processi**: Se più processi mappano lo stesso file contemporaneamente, possono comunicare attraverso questa memoria condivisa.
  - Le modifiche apportate da un processo sono immediatamente visibili agli altri.

DETTAGLI IMPLEMENTATIVI

PROBLEMI DI IMPLEMENTAZIONE DELLA MEMORIA VIRTUALE

- **Sfide nell'Implementazione:**
  - Scelta tra algoritmi teorici (es. Seconda Chance, Aging) e pratiche operative (allocazione locale/globale, paginazione a richiesta/prepaginazione).
  - Gestione di problemi pratici di implementazione della memoria virtuale.
- **Attività del Sistema Operativo nella Paginazione:**
  - **Creazione del Processo:**
    - Determinare le dimensioni iniziali del programma e dei dati.
    - Creare e inizializzare la tabella delle pagine.
    - Allocare spazio nella memoria non volatile per lo scambio.
    - Inizializzare l'area di scambio e registrare informazioni nella tabella dei processi.
  - **Esecuzione del Processo:**
    - Azzerrare la MMU e, se necessario, svuotare il TLB.
    - Rendere attiva la tabella delle pagine del processo.
    - **Pre-paginazione:** Facoltativamente, caricare alcune pagine in memoria per ridurre i page fault iniziali.

GESTIONE DEI PAGE FAULT E CHIUSURA DEL PROCESSO

- **Gestione dei Page Fault:**
  - Determinare l'indirizzo virtuale che ha causato il fault.
  - Trovare la pagina necessaria nella memoria non volatile.
  - Scegliere un frame disponibile, eventualmente sfrattando pagine vecchie.
  - Caricare la pagina nel frame e ripristinare il contatore del programma.
- **Chiusura del Processo:**
  - Rilasciare la tabella delle pagine, le pagine in memoria e lo spazio su disco/SSD.
  - Gestire le pagine condivise con altri processi, rilasciandole solo dopo l'ultimo utilizzo.

PAGE FAULT IN 10 PASSI: A. INIZIO DELLA SEQUENZA

1. **Trap nel Kernel da Parte dell'Hardware**:
   - L'hardware esegue una trap nel kernel, salvando il contatore del programma nello stack.
   - Informazioni sull'istruzione corrente salvate nei registri speciali della CPU.
2. **Avvio Routine di Servizio Interrupt**:
   - Viene eseguita una routine in assembly per salvare i registri e altre informazioni volatili.
   - Invocazione del gestore dei page fault.
3. **Identificazione della Pagina Virtuale Necessaria**:
   - Il sistema operativo determina quale pagina virtuale manca.
   - Se non disponibile dai registri hardware, recupero e analisi dell'istruzione dal contatore di programma.

PAGE FAULT IN 10 PASSI
B. GESTIONE E RISOLUZIONE

4. **Verifica Validità Indirizzo e Protezione**:
   - Controllo della validità dell'indirizzo e coerenza della protezione con l'accesso.
   - Se invalide, invio di un segnale di errore o terminazione del processo.

5. **Rilascio di un Frame Libero**:
   - Se non ci sono frame liberi, esecuzione di un algoritmo di sostituzione delle pagine.
   - Se la pagina è "sporca", viene schedulata per la scrittura in memoria non volatile e il processo è sospeso.

6. **Caricamento della Pagina Richiesta**:
   - Una volta liberato (o scritto in memoria non volatile), il frame viene usato per caricare la pagina necessaria da disco o SSD.
   - Durante il caricamento della pagina, il processo in page fault è ancora sospeso e viene eseguito, se disponibile, un altro processo utente.

PAGE FAULT IN 10 PASSI
C. CONCLUSIONE E RIPRESA

7. **Aggiornamento delle Tabelle delle Pagine**:
   - Al completamento del trasferimento dal supporto non volatile, le tabelle delle pagine vengono aggiornate per riflettere la nuova posizione della pagina.
   - Il frame viene contrassegnato come disponibile.
8. **Ripristino dell'Istruzione in Errore**:
   - L'istruzione in errore è riportata allo stato che aveva all'inizio
   - Il contatore di programma è ripristinato in modo da puntare a quell'istruzione.
9. **Ripresa del Processo in Errore**:
   - Il processo precedentemente in errore viene schedulato per l'esecuzione.
   - Ritorno alla routine in assembly che lo aveva interrotto.
10. **Ricarica dei Registri e Ritorno allo Spazio Utente**:
    - La routine di servizio ricarica i registri e le informazioni di stato.
    - Il controllo ritorna allo spazio utente per continuare l'esecuzione da dove era stata interrotta.

BLOCCARE LE PAGINE IN MEMORIA DURANTE L'I/O

Scenario:

- Un processo invia una richiesta di lettura da un file o dispositivo in un buffer nel suo spazio di indirizzi.
- Mentre attende il completamento dell'I/O, può essere sospeso per permettere l'esecuzione di un altro processo.

Problema con Page Fault

- Se **il secondo processo genera un page fault, esiste il rischio che la pagina contenente il buffer di I/O venga** selezionata per essere **rimossa**
- Se avviene un trasferimento DMA (Direct Memory Access) su quella pagina, la rimozione potrebbe causare scritture errate nei dati.

Soluzione: *Pinning delle Pagine*

- Le pagine utilizzate per l'I/O vengono "bloccate" o "pinned" (fissate) in memoria, prevenendo la loro rimozione.
- Questo approccio assicura che le operazioni di I/O possano procedere senza interruzioni.

Alternativa: Gestione I/O nei Buffer del Kernel

- Un'altra strategia è gestire l'I/O nei buffer del kernel e poi copiare i dati nelle pagine utente.
- Questo metodo richiede una copia aggiuntiva dei dati, potenzialmente rallentando il processo.

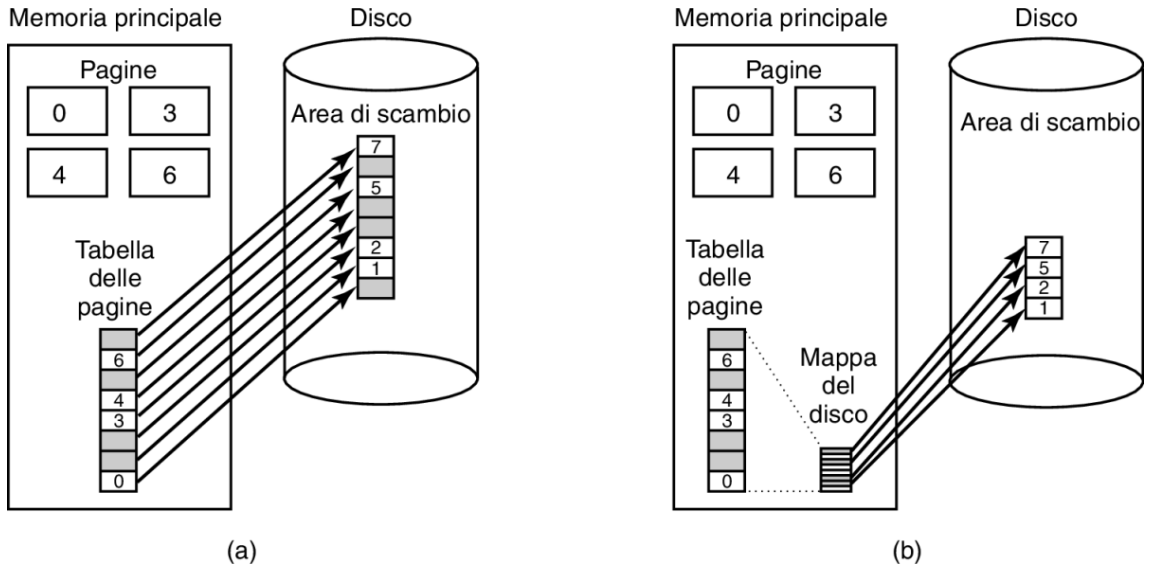
MEMORIA SECONDARIA E GESTIONE DELLO SCAMBIO

Ma dove viene messa una pagina quando viene spostata nella memoria non volatile dopo essere stata «paginata fuori» dalla memoria?

- **Gestione dello Spazio di Scambio** (***file*** o ***partizione di swap***)
  - Il sistema operativo prevede **una partizione speciale o dispositivo separato per lo scambio**, come nei sistemi UNIX.
  - **Un'area del disco/SSD strutturata in maniera differente dal file system** usato per memorizzare file e cartelle (vedi lezioni successive)
  - Partizione di scambio **con file system semplificato**, utilizzando numeri di blocchi relativi
- **Allocazione in Memoria di Scambio**:
  - All'avvio, allocazione di spazio in partizione di scambio pari alla dimensione del processo.
  - Gestione come lista di parti libere (anche se esistono miglioramenti, vedi Capitolo 10 del libro).
- **Associazione Processo-Area di Scambio**:
  - Ogni **processo ha un'area di scambio in memoria non volatile**.
  - L'indirizzo in cui scrivere una pagina è calcolato sommando l'offset della pagina al suo spazio virtuale all'inizio dell'area di scambio.

STRATEGIE DI PAGINAZIONE E OTTIMIZZAZIONI

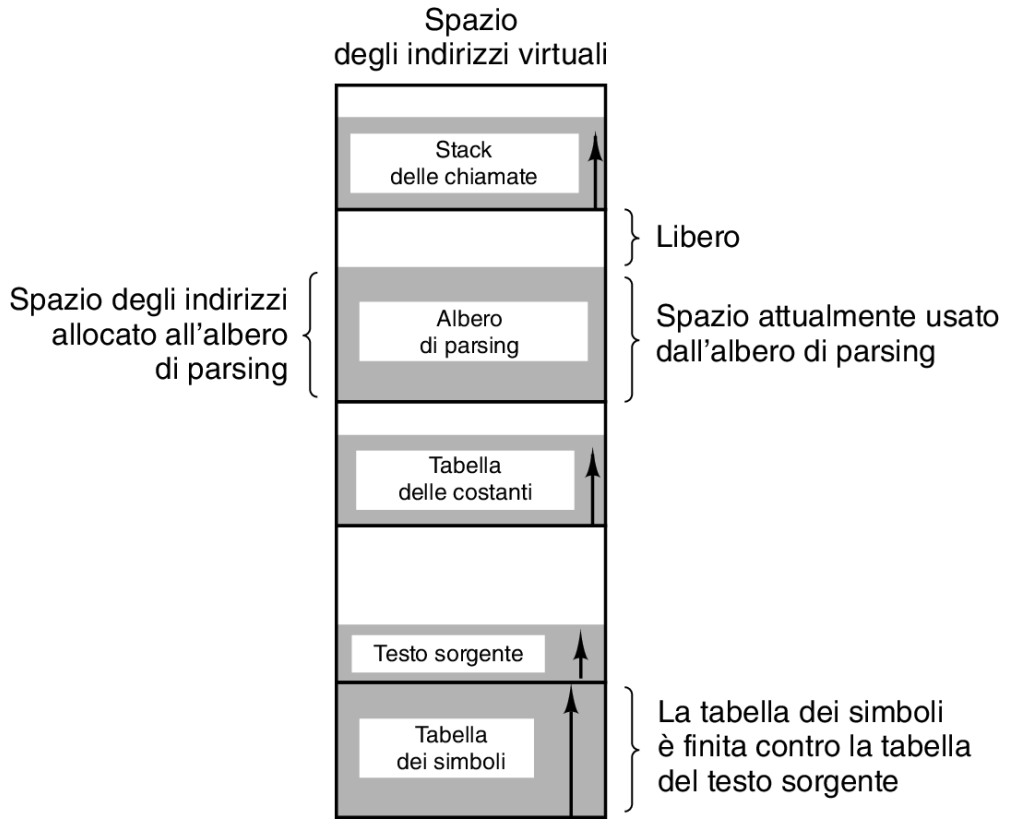
- **Gestione di Crescita dei Processi**:
  - Riserva di aree separate per testo, dati e stack, per gestire l'espansione dei processi.
- **Alternativa di Allocazione Dinamica**:
  - Allocazione dello spazio su disco/SSD al momento dello scambio di ogni pagina.
  - Tavola per ogni processo che indica la posizione di ogni pagina in memoria non volatile.
- **Esempi di Gestione Paginazione**:
  a) Paginazione in area di scambio statica. Ogni pagina ha una posizione fissa su disco.
  b) Salvataggio dinamico delle pagine. Indirizzo su disco scelto al momento dello scambio.
- **Ottimizzazioni su File System**:
  - Uso di file pre-allocati in file system normale (es. Windows).



LA SEGMENTAZIONE

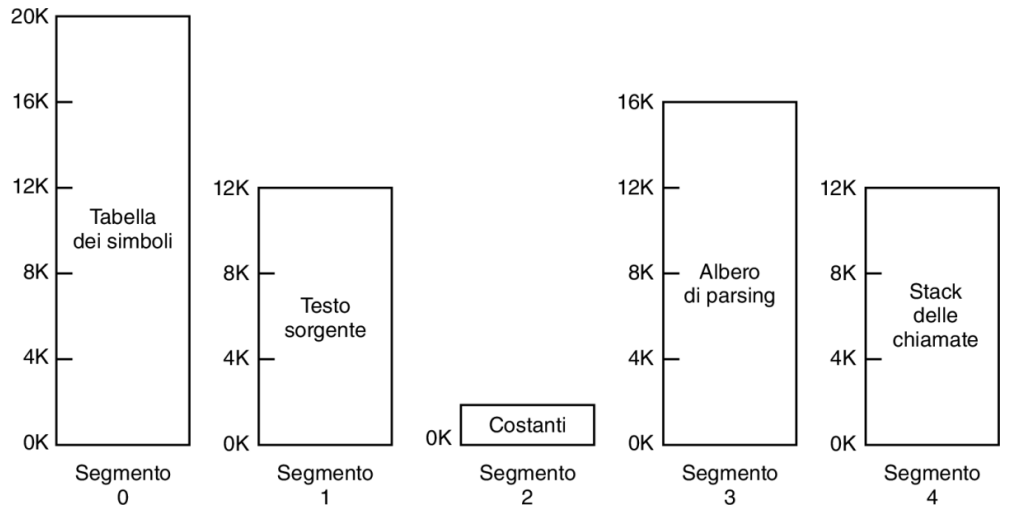
MEMORIA MONODIMENSIONALE VS. SEGMENTAZIONE

- In un sistema di **memoria monodimensionale**, gli **indirizzi virtuali**
  - vanno da 0 a un massimo
  - disposti in modo lineare e contiguo.
- Può risultare **problematica** in alcuni scenari, come nella compilazione
  - **diverse tabelle** (testo sorgente, tabella dei simboli, costanti, albero di parsing, stack) **crescono dinamicamente** e in modo imprevedibile.
- La **crescita** di una tabella **può causare sovrapposizioni con altre**, creando difficoltà nella gestione della memoria
  - richiedendo una riorganizzazione complessa.



LA SEGMENTAZIONE

- La **segmentazione** introduce l'idea di spazi di **indirizzi virtuali multipli e indipendenti**, chiamati segmenti.
  - ***Ciascun segmento* ha una sequenza lineare** di indirizzi, iniziando da 0 fino a un massimo variabile.
  - I segmenti **possono avere lunghezze diverse** e la loro **dimensione può cambiare** durante l'esecuzione.
- Questa struttura **consente** ai segmenti **di crescere o ridursi senza interferire** l'uno con l'altro.
- Per specificare un indirizzo in memoria segmentata, si usa un indirizzo a due parti:
  - numero di segmento
  - indirizzo nel segmento.



Una memoria segmentata consente a ogni tabella di crescere o di ridursi indipendentemente dalle altre tabelle.

VANTAGGI DELLA SEGMENTAZIONE

- **Flessibilità:** I **segmenti possono crescere o ridursi in modo indipendente** l'uno dall'altro.
  - Esempio, lo stack del compilatore può espandersi o contrarsi senza influenzare le altre tabelle.
  - Ciò elimina il problema di collisione presente nella memoria monodimensionale.
- **Semplificazione del Linking:** Se ogni procedura occupa un segmento separato, **il linking di procedure** diventa molto più **semplice.**
  - In caso di modifiche, non è necessario aggiornare gli indirizzi di altre procedure non correlate.
- **Condivisione e Protezione:** La segmentazione **facilita la condivisione di risorse**, come librerie condivise, tra processi diversi.
  - Offre anche la possibilità di **applicare vari livelli di protezione ai segmenti** (es. solo lettura, solo esecuzione), migliorando la sicurezza e aiutando a identificare errori.

MEMORIA SEGMENTATA VS. PAGINATA

- **Confronto:**
  - La segmentazione suddivide la memoria in segmenti con indirizzi lineari.
  - La paginazione divide la memoria in pagine di dimensioni fisse.

La **segmentazione offre maggiore flessibilità** e gestione delle strutture dati rispetto alla paginazione, ma può essere **più complessa da implementare.**

- **Esempi Pratici**
  - **Uso nel Compilatore:** Le varie tabelle utilizzate durante la compilazione possono essere allocate in segmenti separati
    - Le tabelle possono crescere indipendentemente e di essere gestite più efficacemente.
  - **Librerie Condivise:** In un sistema segmentato, una libreria grafica può essere posta in un segmento e condivisa tra più processi, risparmiando spazio e migliorando l'efficienza.

PAGINAZIONE VS SEGMENTAZIONE

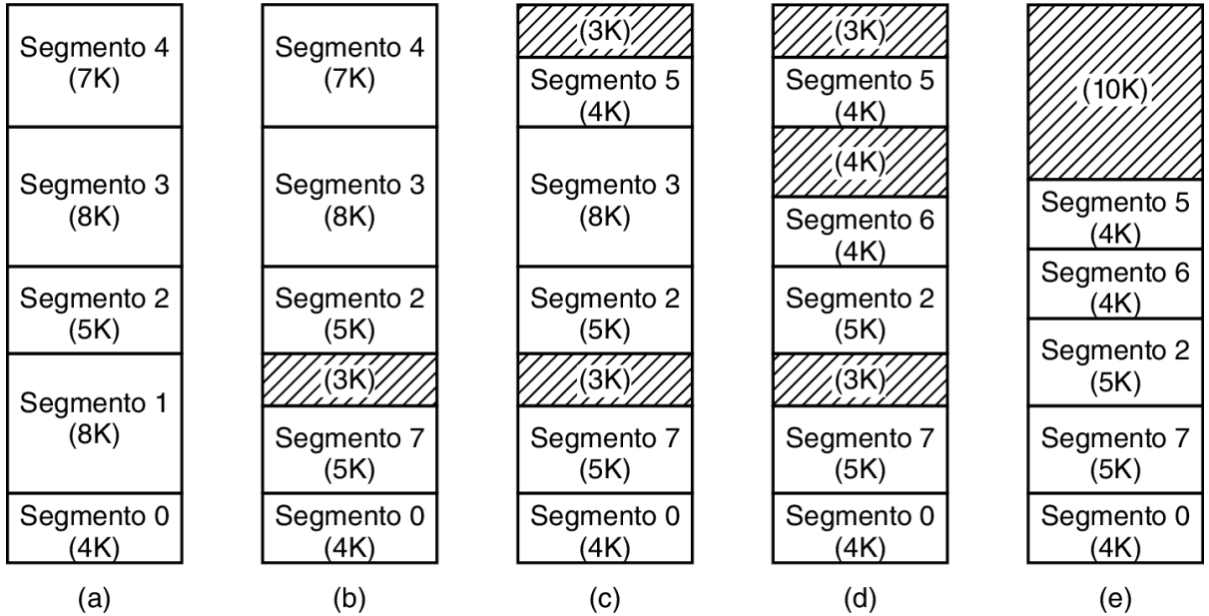
Considerazione	Paginazione	Segmentazione
Il programmatore deve sapere che questa tecnica è in uso?	NO	SI
Quanti spazi di indirizzi lineari ci sono?	1	Molti
Lo spazio degli indirizzi totale può superare la dimensione della memoria fisica?	SI	SI
Le procedure e i dati possono essere distinti e protetti separatamente?	NO	SI
Le tabelle la cui dimensione varia possono essere disposte facilmente?	NO	SI
La condivisione delle procedure fra utenti è facilitata?	NO	SI
Perché fu inventata questa tecnica?	Per avere uno spazio degli indirizzi lineare grande senza dover acquistare ulteriore memoria fisica	Per consentire a programmi e dati di essere spezzati in spazi degli indirizzi logicamente indipendenti e per facilitare la condivisione e la protezione

IMPLEMENTAZIONE DELLA SEGMENTAZIONE PURA: LE SFIDE

- **Paginazione VS Segmentazione:** Le pagine hanno dimensioni fisse, i segmenti no.
- **Evoluzione della Configurazione della Memoria:**
  a) **memoria fisica** con cinque segmenti.
  b) il segmento 1 è rimosso e il segmento 7, che è più piccolo, viene messo al suo posto
     - Fra il segmento 7 e il segmento 2 c'è dello spazio inutilizzato, cioè vuoto.
  c) il segmento 4 è sostituito dal segmento 5
  d) il segmento 3 è rimpiazzato dal segmento 6

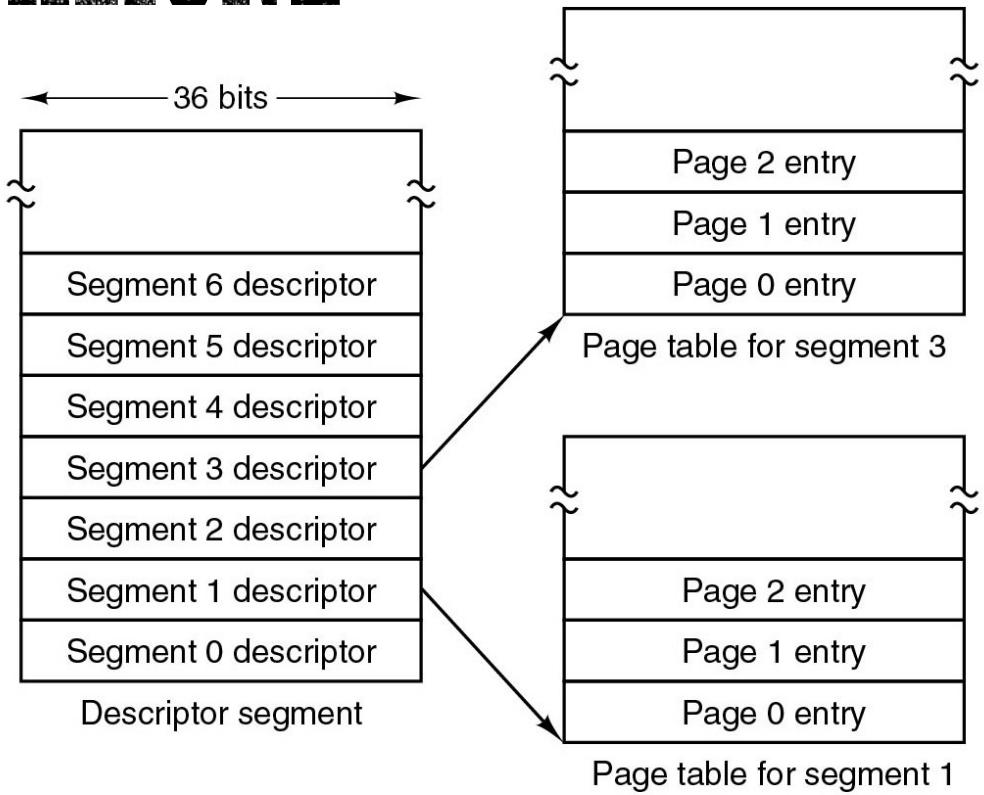
  Frammentazione Esterna ("Checkerboarding"): Dopo un po', la memoria sarà suddivisa in parti, qualcuna contenente segmenti e altre spazi vuoti.

  e) Può essere risolto tramite la **compattazione**.



MULTICS: PIONIERE DELLA SEGMENTAZIONE E PAGINAZIONE

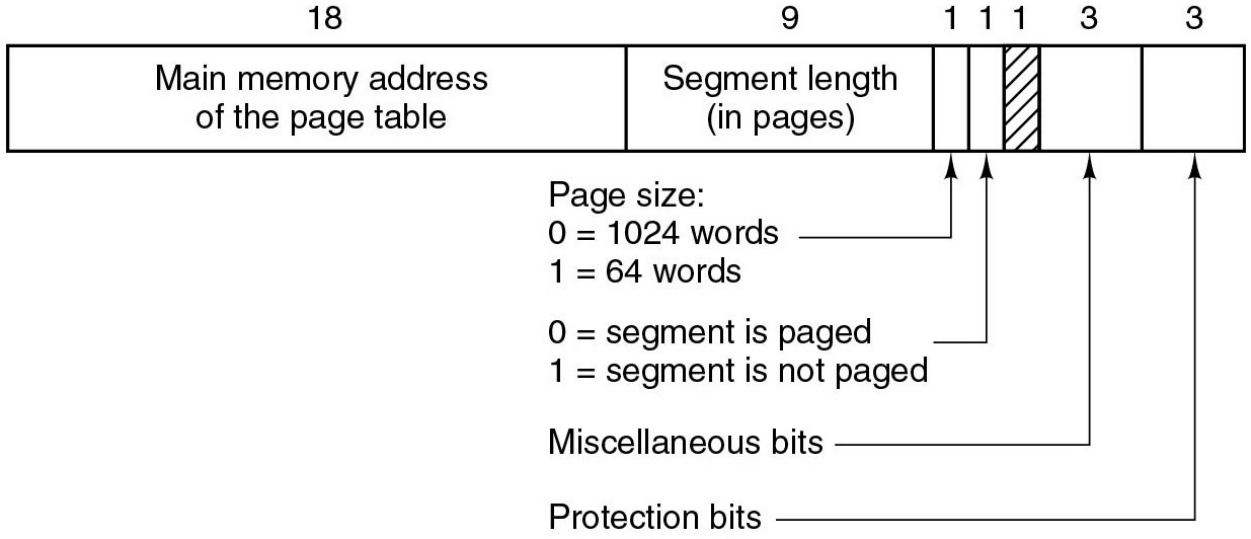
- **Breve storia di MULTICS**: Progetto di ricerca del M.I.T. diventato operativo nel 1969, influente fino al 2000.
- **Rilevanza storica**: Impatto su
  - UNIX,
  - architettura x86
  - TLB
- **Architettura della Memoria:** MULTICS forniva fino a 2^{18} segmenti per programma, con ogni segmento lungo fino a 65.536 parole (= 2^{16}).
- **Approccio alla Memoria Virtuale**
  - I **segmenti** venivano trattati **come spazi di memoria virtuale indipendenti e paginati** per gestire meglio lo spazio in memoria.



Memoria virtuale del MULTICS: Il segmento dei descrittori punta alle tabelle delle pagine.

GESTIONE DELLA MEMORIA E DEI SEGMENTI IN MULTICS

- **Struttura dei Segmenti:** Ogni segmento trattato come spazio virtuale indipendente e paginato.
- **Tabella dei Segmenti:** Descrittori per ogni segmento, indicando se sono in memoria e collegamenti alle tabelle delle pagine.
- **Funzionamento dei Descrittori:** Descrittori con puntatori, dimensione del segmento, bit di protezione, e altre informazioni.

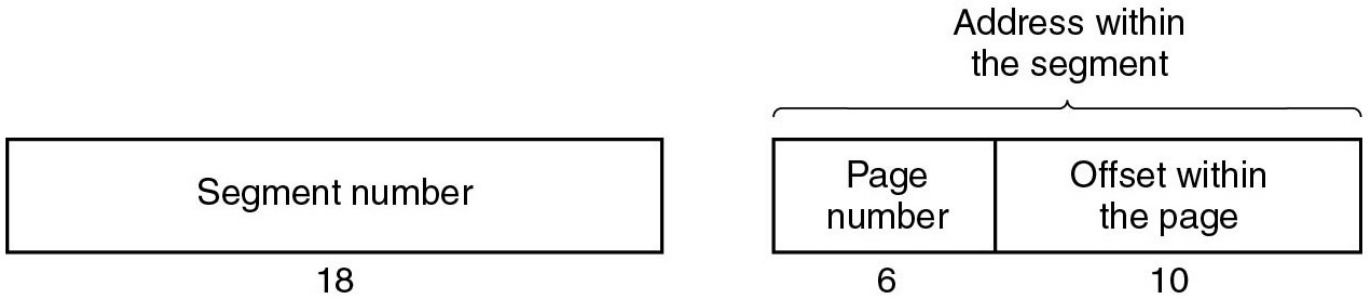


Memoria virtuale del MULTICS: Un descrittore di segmento. I numeri indicano le lunghezze dei campi.

- Nota che la somma di tutti i campi è 36 (il numero di bit nel descriptor segment, vedi slide precedente, è)

GESTIONE DEGLI INDIRIZZI

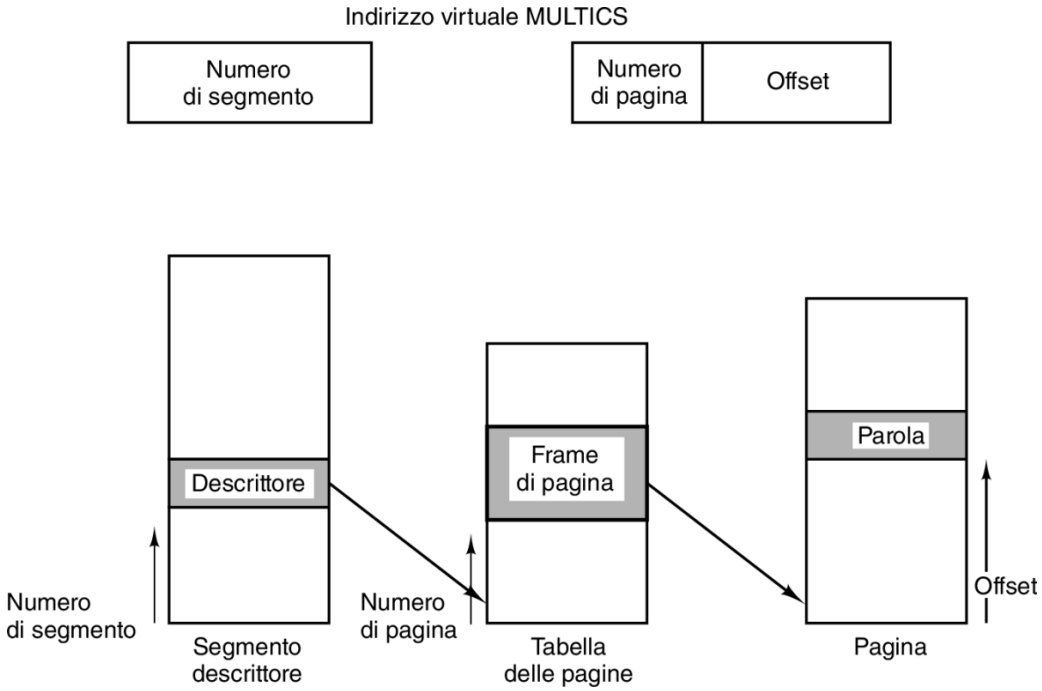
- Indirizzi costituiti da due parti - segmento e indirizzo nel segmento - con suddivisione in numero di pagina e parola nella pagina.



Un indirizzo virtuale MULTICS a 34 bit.

CONVERSIONE DI UN INDIRIZZO MULTICS

1. Il numero del segmento usato per **trovare il descrittore del segmento**.
2. Si **verificava se la tabella delle pagine** del segmento in memoria.
   - Prevenire eventuali errori
3. Si **esamina la voce della pagina virtuale**
   - Se la pagina non memoria: page fault
   - Se in memoria, dalla voce della tabella delle pagine viene estratto l'indirizzo dell'inizio della pagina nella memoria principale.
4. Si **ottiene l'indirizzo nella memoria principale** in cui era localizzata la parola aggiungendo l'offset all'origine della pagina.
5. **Avviene la lettura o il salvataggio**.



OTTIMIZZAZIONE DELLE PRESTAZIONI IN MULTICS

- **Uso del TLB (Translation Lookaside Buffer):**
  - Primo sistema ad utilizzare un TLB per ottimizzare l'accesso alla memoria.
  - TLB con 16 parole per velocizzare la ricerca degli indirizzi.
- **Prestazioni e Set di Lavoro:**
  - Programmi con set di lavoro minori del TLB raggiungono una maggiore efficienza.
  - Gestione di errori del TLB per set di lavoro più grandi.

Comparison field					Is this entry used?
Segment number	Virtual page	Page frame	Protection	Age	
4	1	7	Read/write	13	1
6	0	2	Read only	10	1
12	3	1	Read/write	2	1
					0
2	1	0	Execute only	7	1
2	2	12	Execute only	9	1

Una versione semplificata del TLB MULTICS. L'esistenza di due dimensioni di pagina ha reso più complicato il TLB vero e proprio.

EVOLUZIONE E DECLINO DELLA SEGMENTAZIONE IN INTEL X86

- **Eredità di MULTICS nell'x86:**
  - Fino all'x86-64, Intel x86 rifletteva il modello di MULTICS, combinando segmentazione e paginazione.
  - 16.000 segmenti indipendenti per x86, ognuno fino a 1 miliardo di parole a 32 bit.
- **Transizione all'x86-64:**
  - Nell'x86-64, la segmentazione diventa obsoleta e viene mantenuta solo per compatibilità.
- **Ragioni del Cambiamento:**
  - Sistemi operativi chiave come UNIX e Windows non adottano la segmentazione per questioni di portabilità.
  - Intel elimina la segmentazione per ottimizzare lo spazio del chip nelle CPU a 64 bit.
- **Riflessioni sull'x86:**
  - L'architettura x86 è lodata per il suo equilibrio tra paginazione, segmentazione e compatibilità con versioni precedenti.

IL COMANDO free

UTILIZZO DEL COMANDO FREE IN LINUX PER MONITORARE LA MEMORIA

- **Funzione del Comando free**: Fornisce dettagli sull'utilizzo della memoria fisica e dello swap nel sistema Linux.
- **Output del Comando**:
  - `total`: Quantità totale di memoria fisica disponibile.
  - `used`: Memoria attualmente in uso.
  - `free`: Memoria libera/non utilizzata.
  - `shared`: Memoria condivisa (obsoleta, presente solo per compatibilità).
  - `buff/cache`: Memoria utilizzata per buffer/cache/**slab**, recuperabile se necessario.
  - `available`: Stima della memoria disponibile per nuove applicazioni, considerando buffer e cache.

OPZIONI E INTERPRETAZIONE DELL'OUTPUT DI FREE

- **Formato Leggibile**: Utilizzo dell'opzione `-h` per visualizzare i dati in formato megabyte o gigabyte.
- **Specifica delle Unità di Misura**:
  - Opzioni come `-b, --kilo, --mega, --giga` per specificare l'unità di misura (byte, kilobyte, megabyte, gigabyte).
- **Visualizzazione dei Totali**: Opzione `-t` per mostrare il totale della memoria e dello swap.
- **Aggiornamento Continuo**: Opzione `-s` per aggiornamenti continui ogni tot secondi, simile al comando `watch`.
- **Nota**: Il comando `free` è essenziale per comprendere come la memoria viene utilizzata nel sistema, identificando potenziali spazi liberi per nuove applicazioni e monitorando l'efficienza del sistema in termini di gestione della memoria.