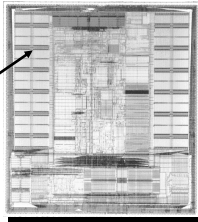
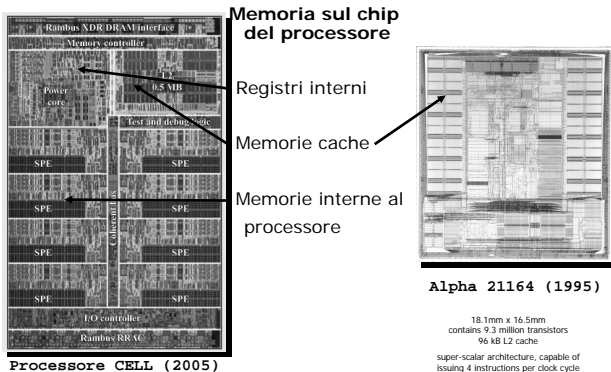


Fondamenti di Informatica B

Lezione n. 13

Alberto Broggi – Gianni Conte
 A.A. 2005-2006

La Memoria Interna



Alpha 21164 (1995)

18.1mm x 16.5mm
 contains 9.3 million transistors
 96 kB L2 cache
 super-scalar architecture, capable of
 issuing 4 instructions per clock cycle

Fondamenti di Informatica B

Lezione n.13

- MEMORIE VLSI, MEMORIE MAGNETICHE
- EVOLUZIONE, COSTI, CAPACITÀ, PRESTAZIONI
- CONCETTI DI BASE E TECNOLOGIA DELLE MEMORIE
- PRINCIPIO DI LOCALITÀ
- GERARCHIA DI MEMORIA
- MEMORIA VIRTUALE E MEMORIA CACHE

In questa lezione esamineremo le caratteristiche e l'organizzazione delle memorie che hanno una influenza determinante sulle prestazioni dei sistemi di elaborazione. Le prestazioni sono influenzate dalla tecnologia che è in rapidissima evoluzione.

La Memoria Interna

- Registri interni alla CPU
 - visibili o no al programmatore
 - memorizzano temporaneamente dati e istruzioni
 - dimensioni: decine di bytes
 - tempo di accesso: qualche ns

Nelle CPU più recenti cresce la quantità di risorse dedicate alla memoria:

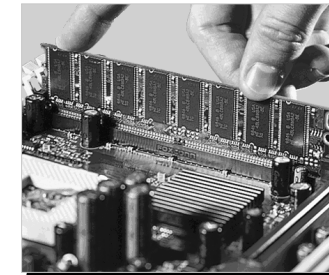
- memorie cache nella CPU:
 - 1980: processori senza cache (I386)
 - 1995: Alpha 21164, 55% dei transistori
 - 2000: Merced (Intel-HP), 85% dei transistori

Le Memorie

I sistemi di memoria di un elaboratore possono essere suddivisi in:

- Memoria interna al processore
- Memoria principale
- Memoria secondaria

La Memoria Principale



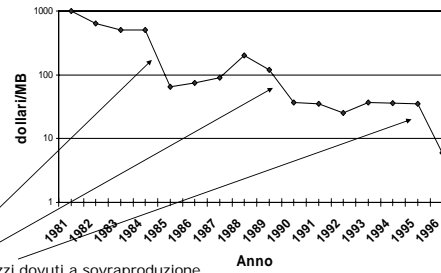
- Memoria sulla scheda madre
- Moduli SIMM (Single Inline Memory Module)

La Memoria Principale

- Veloce e di grande capacità
- Memorizza dati e istruzioni che servono per il funzionamento dell'unità centrale
- La CPU vi accede direttamente
- Nella memoria sono contenuti i programmi che la CPU esegue e i dati cui la stessa CPU può accedere direttamente
 - Centinaia Mbytes su un personal computer
 - GBytes su server e supercalcolatori

La Memoria Principale

Prezzo dollari/MB memoria DRAM



Crollo dei prezzi dovuto a sovrapproduzione

2006: 512 Mbyte circa 50 € e 0,1 dollaro/MB

La Memoria Secondaria

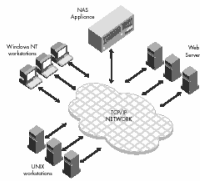


Disco



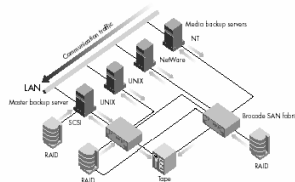
NAS: Network Attached Storage
SAN: Storage Area Network
Sistemi fino a 100 Tbyte

La Memoria sulla Rete



NAS
(Network Attached Storage)

Sistemi di memoria connessi al resto del sistema mediante la rete locale



SAN
(Storage Area Network)

Sistemi di memoria connessi agli elaboratori mediante canali veloci a fibra ottica

La Memoria Secondaria

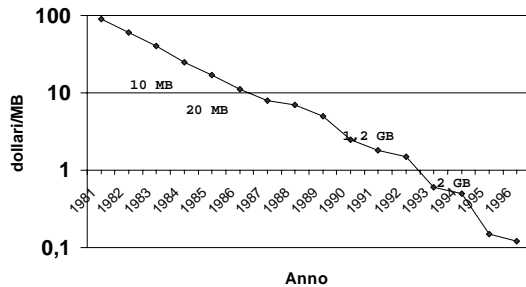
- Di grandi dimensioni (Gbytes) e molto più lenta della memoria principale
- Memorizza dati e istruzioni che non sono di immediato interesse della CPU
- Può essere suddivisa in:
 - Memoria in linea (es. dischi magnetici)
Interesse nell'ambito di millisecondi ... secondi
 - Memoria fuori linea (es. nastri magnetici)
Interesse nell'ambito di minuti ... anni

La Memoria Secondaria

- I sistemi di memoria secondaria utilizzano ora le tecnologie sviluppate per applicazioni di largo consumo
- Le tecnologie della riproduzione video o dei suoni ad alta fedeltà nell'ambito dei sistemi di elaborazione ha modificato il panorama tecnologico e ridotto i costi dei sistemi di memoria secondaria

La Memoria Secondaria

Prezzo dollari/MB Hard-disk



2006: 200 Gbyte 100 € e 0,0005 dollaro/MB

Tecnologie e Caratteristiche

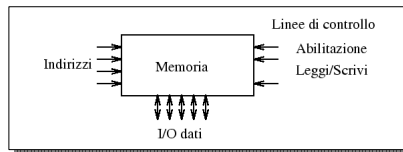
- I vari tipi di memoria sono realizzati con tecnologie con valori diversi di:
 - Costo per singolo bit immagazzinato
 - Tempo di accesso (ritardo fra l'istante in cui avviene la richiesta e l'istante in cui il dato è disponibile al richiedente)
 - Modo di accesso (seriale o casuale)

Tecnologie e Caratteristiche

- Tecnologia delle memorie:
 - Memorie a semiconduttore con tecnologia VLSI (memoria principale)
 - Memorie magnetiche (memoria secondaria)
 - Memorie ottiche (memoria secondaria)

Memorie a Semiconduttore

- La tecnologia VLSI realizza su circuito integrato memorie di capacità sempre crescenti
- In ogni circuito integrato sono contenute:
 - le celle di memoria
 - i circuiti di decodifica dell'indirizzo
 - le interfacce di uscita di potenza (buffer) e i circuiti di ingresso



Memorie a Sola Lettura

- ROM - Read Only Memory o memorie a sola lettura
- La CPU, durante l'esecuzione di un programma, può effettuare solo la lettura
- L'informazione permane anche se viene meno la tensione di alimentazione

Memorie a Sola Lettura

- La scrittura può essere effettuata con modalità e tempi diversi:
 - PROM: *Programmable ROM* - La memoria è scrivibile, dal costruttore o dall'utilizzatore, una volta per tutte
 - EPROM: *Erasable PROM* - La memoria è scrivibile all'utilizzatore e cancellabile con raggi ultravioletti
 - EAROM: *Electrically Alterable ROM* (EEPROM o E²PROM) - Le celle di memoria sono più volte riscrivibili elettricamente

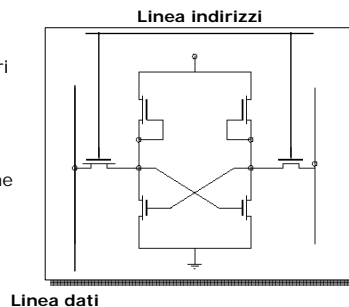
Memorie RAM

- RAM - Random Access Memory
- Memorie (di solito) a semiconduttore ad accesso casuale che sono sia leggibili sia scrivibili
- L'informazione scompare se viene meno la tensione di alimentazione
- RAM statiche o RAM dinamiche

L'acronimo RAM viene utilizzato correntemente per indicare le memorie a lettura e scrittura utilizzate come memorie principali di un sistema di elaborazione

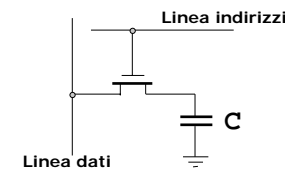
Memorie RAM Statiche - SRAM

- La cella elementare è costituita da 6 transistori MOS che formano un FLIP-FLOP
- L'informazione permane stabile in presenza della tensione di alimentazione
- Tempi di accesso rapidi
- Costi elevati



Memorie RAM Dinamiche - DRAM

- La cella elementare è costituita da un condensatore che viene caricato (1) o scaricato (0)
- La tensione sul condensatore tende a diminuire (millisecondi) e quindi deve essere ripristinata o rinfrescata



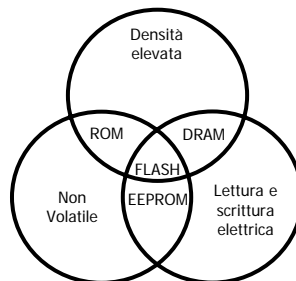
Memorie RAM Dinamiche

- La semplicità della cella consente capacità molto elevate (milioni di bit)

Anno	Dimensioni	Tempo di ciclo
1980	64 kbit	250 ns
1983	256 kbit	220 ns
1986	1 Mbit	190 ns
1989	4 Mbit	165 ns
1992	16 Mbit	140 ns
1995	64 Mbit	120 ns
2000	1 Gbit	70 ns
2006	4 Gbit	50 ns

Memorie Flash

Le Flash memory sono memorie a stato solido (non hanno parti in movimento) e sono memorie non volatili (mantengono l'informazione anche se non sono alimentate) che si stanno diffondendo in molteplici campi



Memorie ad Accesso Seriale

- Nastri magnetici, dischi magnetici e ottici:
 - Condividono il sistema di lettura (o testina) e scrittura tra diverse locazioni di memoria
 - La sequenza di locazioni che condivide la stessa testina si chiama traccia
 - L'accesso alla locazione di memoria avviene spostando la testina o la traccia
 - La traccia o parte di essa deve essere letta completamente per accedere al singolo dato
 - Le memorie ad accesso seriale hanno raggiunto con la tecnologia magnetica e ottica costi per bit estremamente bassi

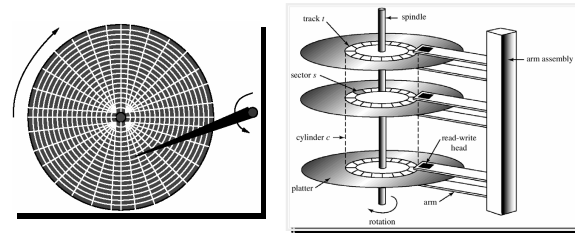
Dischi Magnetici

- Un disco magnetico consiste di un piatto di alluminio ricoperto da materiale ferromagnetico
- Attualmente le dimensioni del piatto variano da 3 a 12 cm
- La testina del disco scorre sul piatto sfiorando la superficie con un anello posto all'estremità
- In fase di scrittura la corrente che scorre nell'anello magnetizza il materiale sottostante in una direzione che dipende dal verso della corrente
- In fase di scrittura nell'anello viene indotta una corrente con il segno che dipende dal tipo di magnetizzazione indotta in fase di scrittura
- Si ottiene in tal modo un flusso di bit che può essere trasferito nella memoria del calcolatore

Dischi Magnetici

I dati sulla superficie del disco sono scritti in cerchi concentrici (tracce)

Ogni traccia è divisa in settori che memorizzano un gruppo di dati (512 byte) con le informazioni per correggere eventuali errori e un preambolo per la sincronizzazione



Dischi Magnetici

- Le memorie seriali hanno tempi di accesso elevati perché:

- Occorre tempo per posizionare la testina di lettura
- La traccia si muove a velocità ridotta
- Il trasferimento dati è seriale
- La testina di lettura è condivisa fra più tracce



Dischi Magnetici

TEMPO DI ACCESSO

- **seek time (t_s):** tempo necessario alla testina di lettura per spostarsi da una traccia all'altra. Dipende dalle caratteristiche meccaniche del sistema che movimentano la testina
- **latency time o tempo di latenza (t_L):** tempo necessario per posizionare la testina sul dato da leggere (o scrivere). Può valere in media la metà del tempo di rotazione del disco

Se r [num. giri al minuto] è la velocità di rotazione il tempo medio di latenza diventa:

$$t_L = \frac{1}{2}(r)^{-1}$$

Dischi Magnetici

Il tempo di lettura di un blocco di dati dipende dalla velocità relativa fra la traccia e la testina di lettura.

Sono in commercio dischi in cui la velocità di rotazione è da 7000 a 10000 giri al minuto. Sono annunciati dischi fino a 15,5 kgiri al minuto

tempo lettura di un dato =
tempo lettura traccia/numero dati su una traccia =
= $(r)^{-1} / N$

Caratteristiche dei Dischi

ESEMPI

Disco	t_s [ms]	N [Kbytes]	r [giri/min]	t_L [ms]
NEC D2257 (1985)	20	20	3510	8,5
Quantum (1995)	7,9	74	7200	4,2

Tempo di Accesso

Tempo di accesso t_B ad un blocco di lunghezza n :

$$t_B = t_s + t_L + (\text{tempo di lettura blocco}) = t_s + (2r)^{-1} + n(r)^{-1} / N =$$

Nel caso del NEC D2257

$$20 + 8,5 + n \cdot 17 / 20 \text{ (Kbytes) ms} = [28,5 + 0,85 \cdot n \text{ (Kbytes)}] \text{ms}$$

Nel caso del Quantum

$$7,9 + 4,2 + n \cdot 8,4 / 74 \text{ (Kbytes) ms} = [12,1 + 0,113 \cdot n \text{ (Kbytes)}] \text{ms}$$

Dischi Ottici

CD-ROM:

- Un CD è un disco di polycarbonato con una superficie di alluminio riflettente protetta da un film di resina
- Le informazioni sono memorizzate come successioni di "buchi" (pits) e "terre" (lands) nel polycarbonato, letti per mezzo di un laser. I dati sono memorizzati a spirale.
- La velocità di scansione è di 1,2m/s costante con una velocità di rotazione che va da 500 a 200 rpm

Dischi Ottici

- I dati sono memorizzati in settori che contengono:
 - Preambolo (16 byte)
 - Dati (2048 byte)
 - ECC, Error Correction Code (288 byte)
- La velocità di lettura è di circa 75 settori/s che corrispondono a circa 150 kbyte/s
- Vi sono diversi modi di memorizzare i dati a seconda che si richieda o meno la presenza di ECC

Dischi Ottici Riscrivibili

- CD-RW:
 - Strato alluminio sostituito da lega con due stati stabili, con diverse capacità riflettenti:
 - cristallino (riflettente)
 - amorfo (semi riflettente)
 - Laser a tre potenze:
 - alta potenza porta allo stato amorfo
 - media potenza porta allo stato cristallino
 - bassa potenza lettura

Dischi Ottici

CD	DVD	BD	HD-DVD
$\lambda=780\text{nm}$ NA=0.45	$\lambda=650\text{nm}$ NA=0.6	$\lambda=405\text{nm}$ NA=0.85	$\lambda=405\text{nm}$ NA=0.65
2.1 μm	1.3 μm	0.6 μm	0.76 μm

CD: dati e audio => 650 MB

DVD: dati e video => 4,7 GB

BD: Blu-ray Disc® HDTV => 25-200 GB

HD-DVD: HDTV => 25 GB

DVD strato singolo - singola facciata (4,7 GB)

DVD strato doppio - singola facciata (8,4 GB)

DVD strato singolo - doppia facciata (9,4 GB)

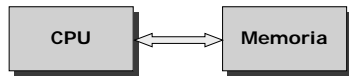
DVD strato doppio - doppia facciata (17 GB)

Il Sistema Memoria

- Le memorie di un calcolatore formano un sistema unico che deve essere progettato e gestito in modo da ottenere:
 - Capacità di memorizzazione adeguata
 - Prestazioni accettabili
 - Costi ridotti
- Gli obiettivi indicati sono ovviamente in contrasto fra loro
- Lo scopo del progetto architeturale è quello di raggiungere un ragionevole compromesso fra gli obiettivi indicati

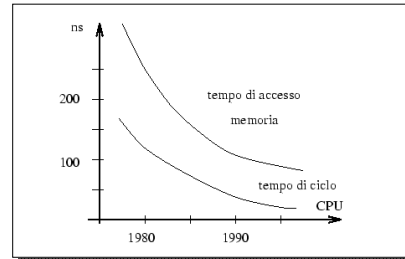
CPU-Memoria

Nell'architettura VonNeuman il canale di comunicazione tra la CPU e la memoria è il punto critico (collo di bottiglia) del sistema



- La tecnologia consente di realizzare CPU sempre più veloci
- Il tempo di accesso delle memorie non cresce così rapidamente

CPU-Memoria



Sono disponibili nel 2006 CPU con frequenza di clock superiore a 3 GHz
Le prestazioni delle CPU non devono essere troppo negativamente influenzate dal tempo di accesso alle memorie

La Gerarchia delle memorie

La soluzione ottimale per un sistema di memoria è:

- Costo minimo
- Capacità massima
- Tempi di accesso minimi

- Soluzione approssimata: GERARCHIA
- Tecnologie diverse possono soddisfare al meglio ciascuno dei requisiti
- Una gerarchia cerca di ottimizzare globalmente i parametri

Esempio di Gerarchia

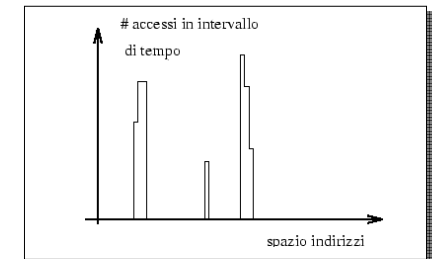
Il sistema di memoria di uno studente ha una struttura gerarchica:

- La propria memoria
 - La borsa
 - Lo scaffale di casa
 - La libreria o la biblioteca di Facoltà
 - Depositi casa editrice
- La gestione del sistema di memoria globale di uno studente è molto complessa e richiede la conoscenza preventiva delle attività che si svolgeranno

Principio di Località

- Un sistema di memoria gerarchico può essere reso efficiente se la modalità di accesso ai dati ha caratteristiche prevedibili
- Il meccanismo di prevedibilità è il Principio di località:
"Se al tempo t si accede all'indirizzo X è "molto probabile" che l'indirizzo $X + \Delta X$ sia richiesto fra t e $t + \Delta t$ "
- Nel breve periodo gli indirizzi generati da un programma sono confinati in regioni limitate

Principio di Località

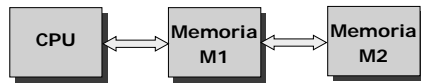


La distribuzione degli accessi alla memoria in un dato intervallo può essere misurato direttamente su un sistema

La Gerarchia delle Memorie

Coppia di strutture di memoria M1 e M2 con:

- costo per bit: $c_1 > c_2$
- dimensioni: $S_1 < S_2$
- tempi di accesso: $t_{A1} < t_{A2}$



- M_1 e M_2 realizzati con tecnologie diverse
- Gestione della gerarchia automatica e invisibile all'utente
- Sono attualmente utilizzati sistemi con più livelli di gerarchia della memoria

Criteri di Gestione

- I dati utilizzati più spesso vanno posti in memorie facilmente accessibili
- I dati utilizzati più raramente sono posti in memorie con tempi di accesso elevato
- Allocazione dinamica per utilizzare gli spazi disponibili con la massima efficienza
- Spostamento automatico dei dati tra i livelli
- La politica di gestione tende a mimare una memoria che abbia:
 - i tempi di accesso della più veloce
 - le dimensioni della maggiore
 - i costi della più economica

Hit e Miss Ratio

Le prestazioni del sistema sono determinate dal:

tasso di successo o *Hit ratio* = H

definito come la probabilità che la richiesta sia soddisfatta al livello M_1

Si definisce tasso di insuccesso o *Miss ratio* la probabilità che la richiesta non sia soddisfatta al livello M_1

Miss ratio = $1 - H$

Tempo di Accesso

Tempo di accesso medio globale:

$$t_A = H t_{A1} + (1 - H) t_{A2}$$

dove

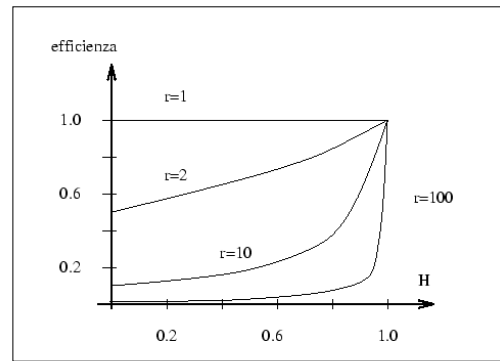
- $t_{A2} = t_{A1} + t_B = r t_{A1}$
- t_B è il tempo di accesso a un blocco di M_2

Efficienza di accesso =

$$e = \frac{t_{A1}}{t_A} = \frac{t_{A1}}{H t_{A1} + (1 - H) t_{A2}} = \frac{1}{H + (1 - H)r}$$

dove: $r = \frac{t_{A2}}{t_{A1}}$

Prestazioni

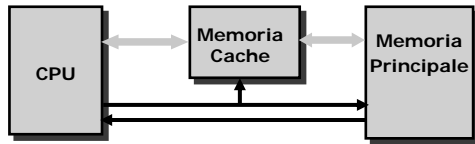


Memoria Virtuale

- La Memoria Virtuale è il meccanismo di gestione della gerarchia formata da:
 - Memoria principale
 - Memoria secondaria
- Offre il grosso vantaggio di rendere il programma indipendente dalle dimensioni di memoria della singola macchina

Memoria Cache

- La cache è una memoria veloce e di piccole dimensioni posta fra la CPU e la memoria principale
- La cache e la memoria principale formano una gerarchia di memoria



I tre livelli di memoria sono gestiti come due gerarchie:

- Mem. principale - Mem. secondaria
- Cache - Memoria principale

Memoria Cache

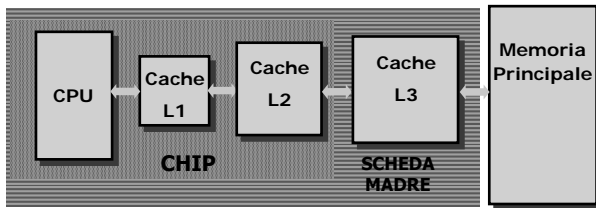
- Le prestazioni della memoria cache dipendono anche dalla sua posizione rispetto alla CPU:
 - Cache su scheda
 - Cache su chip
- La presenza di una memoria cache sullo stesso chip del processore rappresenta la soluzione che garantisce la maggiore efficienza
- Nei sistemi più recenti sono presenti entrambe le soluzioni

Prestazioni a confronto

Gerarchia	Cache - M.Pr.	M.Pr. - M.Sec.
Rapporto tempi di accesso	5/1	1000/1
Gestione	Hardware	Software
Dim. pagina	4 - 128 bytes	64 - 4096 bytes
Accesso CPU al 2o livello	Diretto	Sempre tramite il primo

Memoria Cache

Nei processori moderni esistono fino a 3 livelli di cache (L1, L2, L3)



Soluzione L1+L2

L1 ≥ 32 kB

L2 ≥ qualche MB

Soluzione L1+L2 + L3

L1 ≥ 16 kB

L2 ≥ 256 kB

L3 ≥ 2-4 MB