

Università di Napoli Federico II – Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica



Corso di Calcolatori Elettronici I

Memorie



Argomenti

- Modello di unità di memoria
 - modello generale
 - memorie indirizzabili
 - memorie associative
 - classificazione
- Parametri di una memoria
- Meccanismi di selezione
- Tecnologie di memoria
- Cenni alle gerarchia di memorie

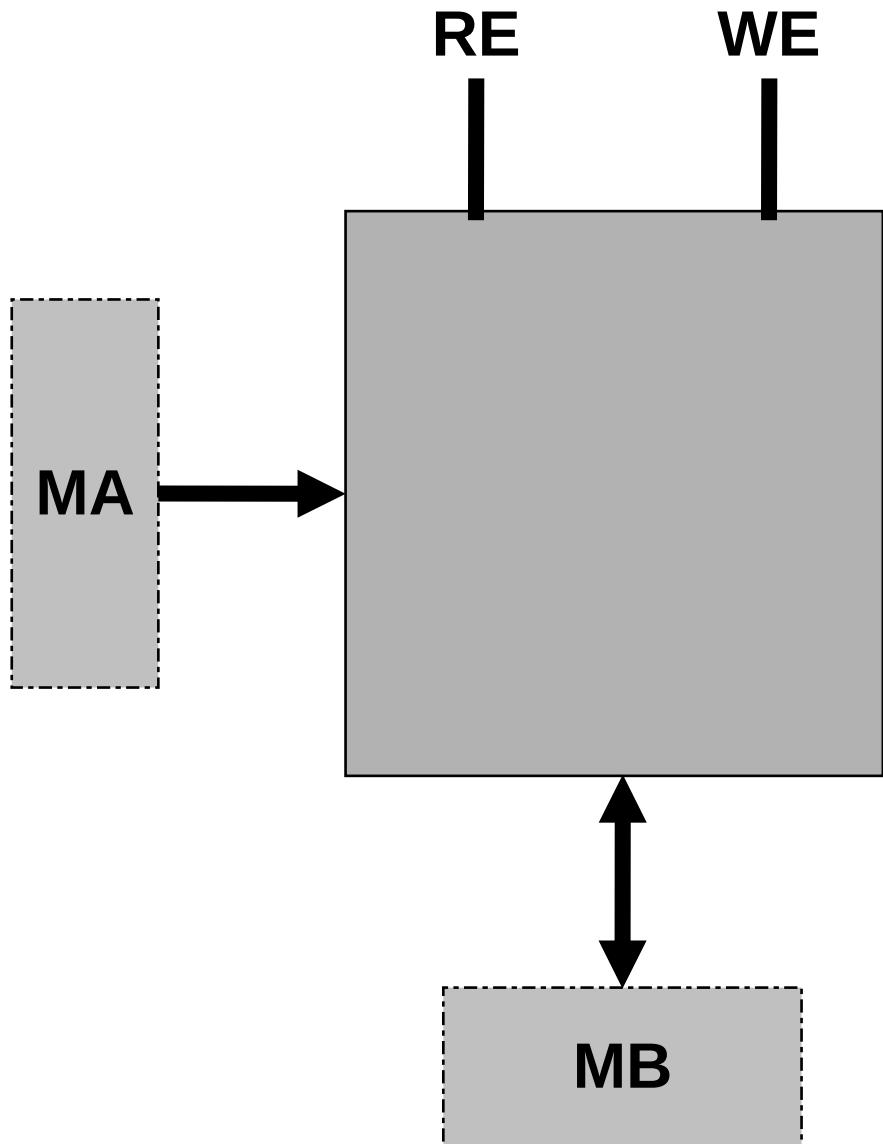
Definizione di memoria



- Sistema organizzato con un insieme di registri (nel senso generale di “contenitori d’informazione”) sui quali sono definite 3 operazioni:
 - Scrittura
 - Posizionamento di una cella in un determinato stato o registrazione dell’informazione
 - Lettura
 - Rilievo dello stato di una cella o prelievo dell’informazione
 - Selezione
 - Individuazione di una cella al fine di eseguire una delle operazioni precedenti

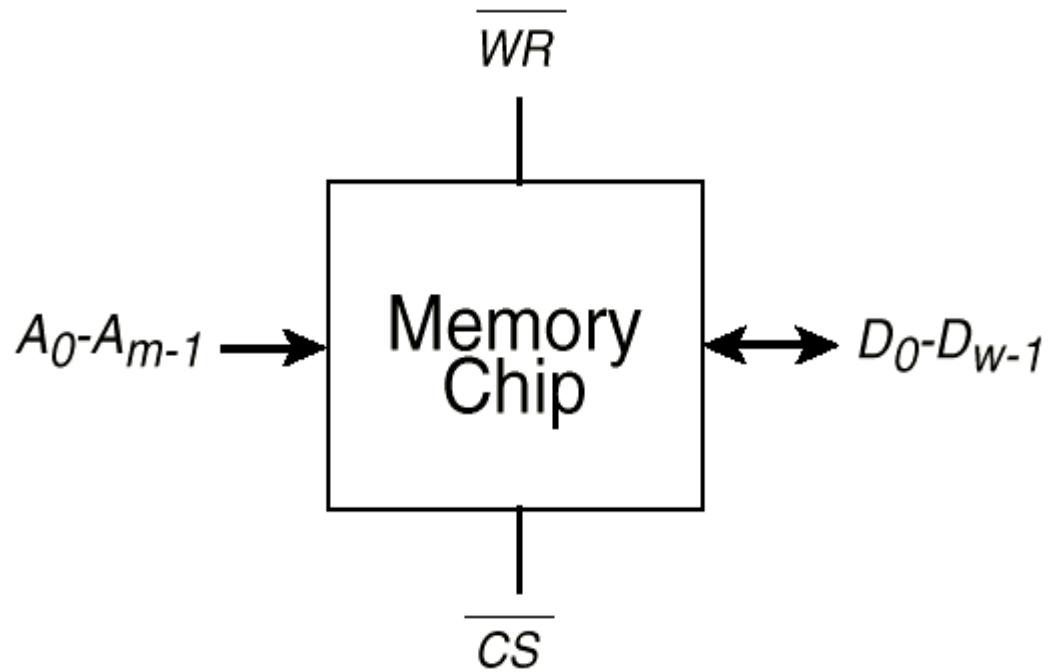
Modello costitutivo di memoria

- Memory Address (MA)
 - registro contenente l'indirizzo della locazione di memoria interessata all'operazione
- Memory Buffer (MB)
 - registro contenente il dato letto o da scrivere in memoria
- Read Enable (RE)
 - segnale che attiva l'operazione di lettura
- Write Enable (WR)
 - segnale che attiva l'operazione di scrittura



Pinout (semplificato) di un chip di memoria

- *Pinout* = insieme di segnali elettrici accessibili dall'esterno del componente
- A_0-A_{m-1}
 - Linee degli indirizzi
 - Unidirezionali (solo in ingresso)
- D_0-D_{w-1}
 - Linee dei dati
 - Tipicamente bidirezionali
- !CS
 - Abilitazione del dispositivo. Se CS=0 la memoria risponde ai cambiamenti dei segnali esterni. Se CS=1, la memoria è inalterata qualsiasi cosa succeda sugli altri segnali
- !WR
 - Abilitazione dell'operazione di scrittura. La scrittura è attivata quando WR diventa 0

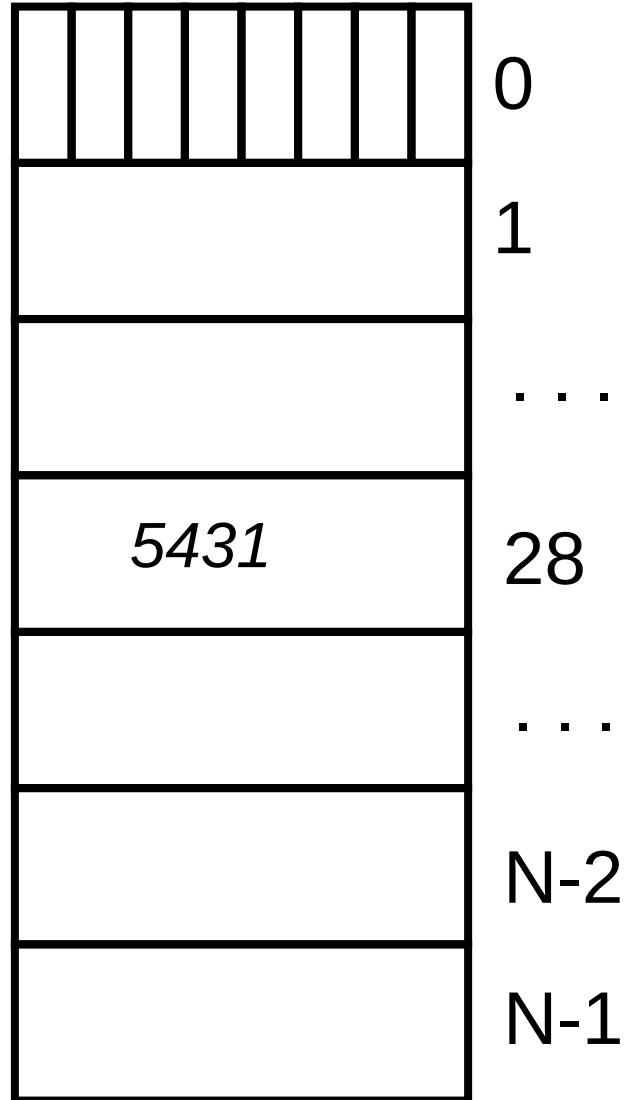


NOTE:

- !CS e !WR sono attivi bassi, ovvero hanno effetto quando valgono 0 e non quando valgono 1 (è indicato dal segno !, o dalla linea sopra la linea)
- purché sia CS=0 e WR=1, l'operazione di lettura (read) è sempre attiva, e l'uscita **D** cambia in conseguenza dell'ingresso indirizzo **A**

Memorie indirizzabili

- Ogni registro è univocamente individuato da un numero intero (indirizzo) che assume valori da 0 a $N-1$ (spazio di indirizzamento)
- Se un registro occupa la posizione i , ci si riferisce ad esso anche come *locazione i*
- Ad esempio, la locazione 28 contiene il valore 5431



Organizzazione della memoria

- I processori “a parola” accedono alla memoria con un parallelismo di 16 bit, 32 bit o 64 bit (larghezza della parola)
- Tipicamente, la memoria è sempre *byte-addressable*, cioè la più piccola unità di memoria indirizzabile è il byte (*locazione*), anche quando la larghezza della parola è maggiore (2, 4 oppure 8 byte)
- I byte costituenti una word possono essere disposti in due modi alternativi: **big endian** e **little endian**

MS byte	1	2	3
4	5	6	7
...			
2^{k-4}	2^{k-3}	2^{k-2}	2^{k-1}

MS byte	2	1	0
7	6	5	4
...			
2^{k-1}	2^{k-2}	2^{k-3}	2^{k-4}

Disposizione BIG-ENDIAN

Disposizione LITTLE-ENDIAN

Esempio di memoria indirizzabile

Address	Value
0000A000	0F0F0000
0000A004	186734F1
0000A008	0F000000
0000A00C	FE681022
0000A010	3152467C
0000A014	C3450917
0000A018	00392B11
0000A01C	10034561

← 32 bits → 32 bits →

Random access memory

- In questo esempio, la memoria indirizzabile ha un bus indirizzi A di 32 bit, questo significa che si possono indirizzare fino a 2^{32} differenti locazioni (questo non significa che la memoria le debba contenere tutte)
- Ciascuna locazione contiene poi dati di 32 bit

Esempio: la locazione corrispondente all'indirizzo esadecimale **0000A010 contiene il valore **3152467C****

Memorie associative

- Ogni registro è univocamente individuato dal valore di un particolare campo (*chiave*, o *key*)
- Per leggere un dato non si usa un indirizzo, bensì si cerca la sua chiave (es. 23)
- Una determinata chiave non è vincolata ad occupare una particolare posizione
- La ricerca di un elemento con una certa chiave può essere molto onerosa
- Sono dette anche CAM (Content Addressable Memory)

<i>chiave (key)</i>	<i>valore</i>
324	0xA345AB5D
23	0x5465BC4E
8874	0xB43F3C54
43	0x78CD733B
(vuota)	---
(vuota)	---
(vuota)	---

Memorie associative



43

- In linea di principio, per effettuare una lettura occorrerebbe scorrere tutto il contenuto della memoria fino a trovare (eventualmente) la chiave cercata
- In pratica, se la memoria non è troppo grande, la ricerca può essere effettuata in parallelo su tutti i registri
 - serve un circuito comparatore per ogni registro contenuto in memoria, che confronti la chiave cercata con quella contenuta dal registro

chiave (key)	valore
324	0xA345AB5D
23	0x5465BC4E
8874	0xB43F3C54
43	0x78CD733B
(vuota)	---
(vuota)	---
(vuota)	---

Tassonomie delle memorie



- In base alla **modalità di accesso** ai dati, le memorie si dividono in:
 - *Sequenziali*: occorre scorrere il supporto (ad esempio un nastro) per arrivare al dato cercato: il tempo di accesso dipende dalla posizione
 - *Casuali*: il tempo di accesso al dato non dipende dalla sua posizione sul supporto
- In base alle **operazioni consentite**, le memorie si dividono in:
 - Memorie a sola lettura (Read Only Memory - ROM)
 - Memorie a lettura/scrittura (Read Write Memory - RWM)
- In base alla **“stabilità” dell’informazione memorizzata**, le memorie si dividono in:
 - Volatili (i dati vengono persi allo spegnimento)
 - Non volatili (i dati permangono anche in assenza di alimentazione)

Memorie meccanicamente statiche e dinamiche



- “Meccanicamente” statiche:
 - Sia il supporto fisico, sia il dato sono fermi rispetto al sistema di lettura/scrittura (es: memory card)
 - Il dato è individuato esclusivamente dalla sua posizione rispetto al sistema di lettura/scrittura
 - Le operazioni di lettura/scrittura avvengono staticamente, nel senso che non esistono organi in movimento
- “Meccanicamente” dinamiche:
 - Il supporto fisico e/o il dato è in movimento rispetto al sistema di lettura/scrittura (es: disco magnetico)
 - Il movimento del sistema di lettura/scrittura è utilizzato per individuare il dato
 - Le operazioni di lettura/scrittura avvengono dinamicamente, nel senso che esistono organi in movimento

- Dal punto di vista della loro realizzazione elettronica, le memorie RAM si dividono in:
 - statiche (SRAM)
 - l'informazione memorizzata è conservata nelle celle di memoria per un tempo indefinito o finché non viene modificata tramite un'operazione di scrittura
 - dinamiche (DRAM)
 - l'informazione memorizzata nelle celle di memoria deve essere ripristinata periodicamente (operazione di *rinfresco*, o *refresh*, della memoria)
- Tipicamente sono entrambe volatili:
 - perdono i dati allo spegnimento

- **Capacità**

- Numero di dati che può contenere la memoria
- Si esprime indicando il numero complessivo di registri e la dimensione in bit di un singolo registro

- **Tempo di accesso**

- Tempo necessario ad eseguire un'operazione di lettura/scrittura
- È composto in generale da un tempo di *selezione* più un tempo di *trasferimento*

- **Casualità d'accesso**

- Il tempo d'accesso può essere indipendente (memorie ad accesso casuale) o dipendente (memorie ad accesso non casuale) dal particolare registro acceduto

- **Volatilità**

- Capacità di una memoria di mantenere in maniera stabile l'informazione memorizzata

Unità di misura della capacità

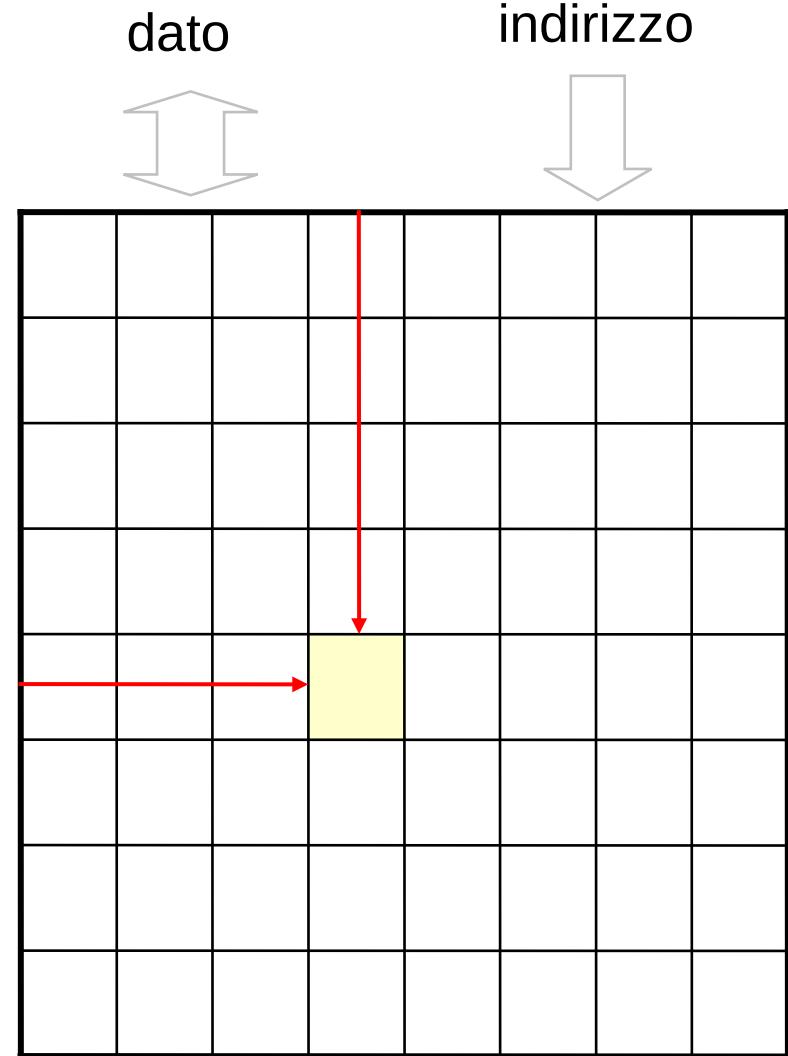


DIE
TI.
UNI
NA

bit	un singolo 1 o 0
kilobit (kb)	2^{10} bit = 1024 bit
megabit (Mb)	2^{20} bit = 1.048.576 bit = 2^{10} kb
gigabit (Gb)	2^{30} bit = 1.073.741.824 bit = 2^{10} Mb = 2^{20} kb
byte	8 bit = 2^3 bit
kilobyte (kB)	2^{10} byte = 1024 byte = 2^{13} bit
megabyte (MB)	2^{20} byte = 1.048.576 byte = 2^{10} kB = 2^{23} bit
gigabyte (GB)	2^{30} byte = 1.073.741.824 byte = 2^{10} MB = 2^{20} kB = 2^{33} bit

Selezione nelle memorie

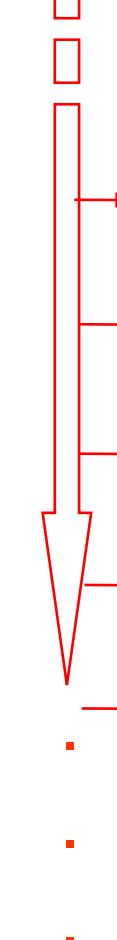
- La *selezione* è il processo mediante il quale una particolare locazione **fisica**, interessata da un'operazione di lettura o scrittura, è **individuata** nella struttura del dispositivo di memoria, in modo da renderne accessibile il contenuto dall'esterno attraverso il bus dati
- l'individuazione della posizione deve ovviamente avvenire a partire dal bus indirizzo
 - esistono diverse soluzioni realizzative



Selezione associativa - Schema di principio

- Come anticipato in precedenza, in una memoria associativa un dato con una certa chiave non è vincolato ad occupare una certa posizione fisica in memoria
 - per reperire un dato, occorre “cercare” la sua chiave, se presente, attraverso l’intera struttura
- la ricerca può essere fatta sequenzialmente o in parallelo
- è adeguato per memorie piccole

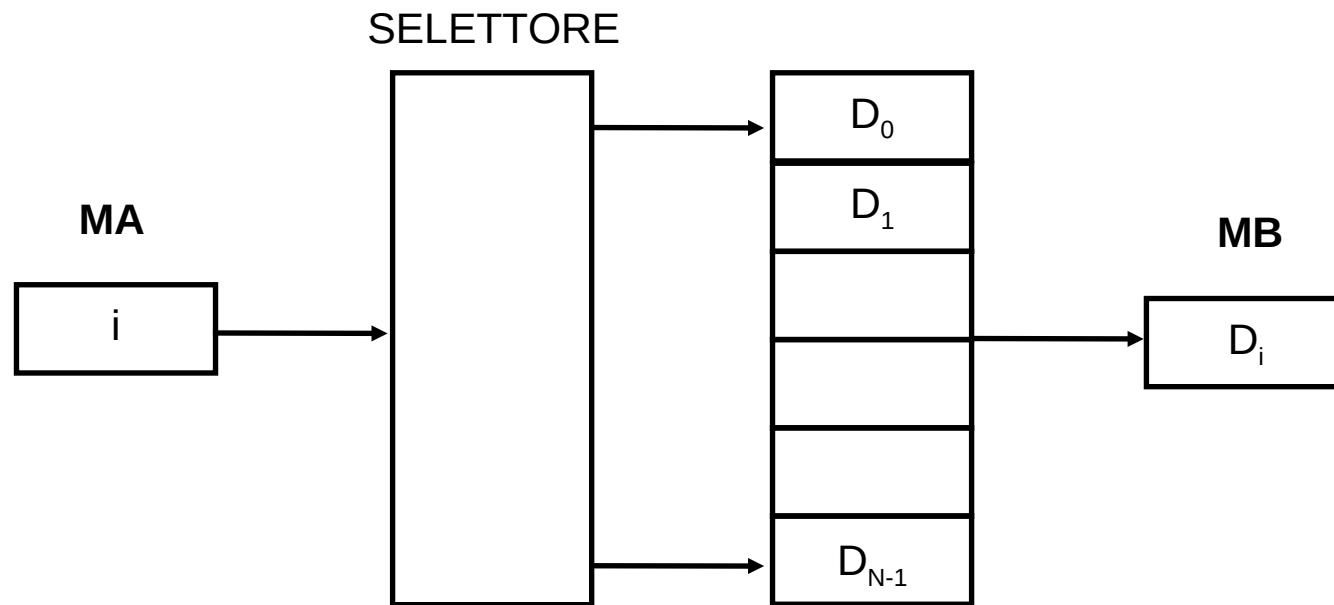
43



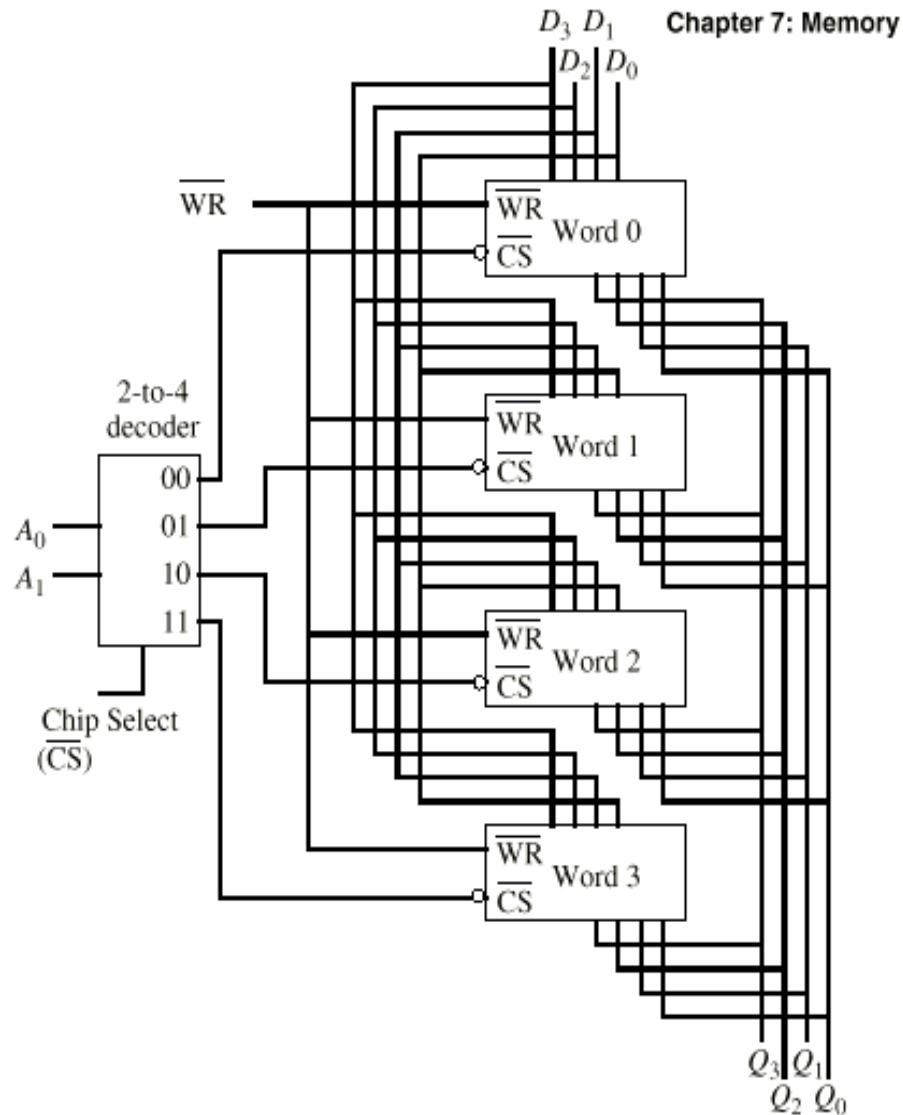
chiave (key)	valore
324	0xA345AB5D
23	0x5465BC4E
8874	0xB43F3C54
43	0x78CD733B
(vuota)	---
(vuota)	---
(vuota)	---

Selezione lineare – Schema di principio

- Nelle memorie indirizzabili, invece, la posizione fisica del dato corrisponde univocamente al valore dell'indirizzo
- L'associazione può essere realizzata con diversi meccanismi
- Nello schema di *selezione lineare* esiste un unico sistema di selezione che attiva direttamente e singolarmente ciascuno degli N registri presenti nella memoria
- Si può immaginare realizzato come un decoder a N uscite e $\log_2(N)$ ingressi

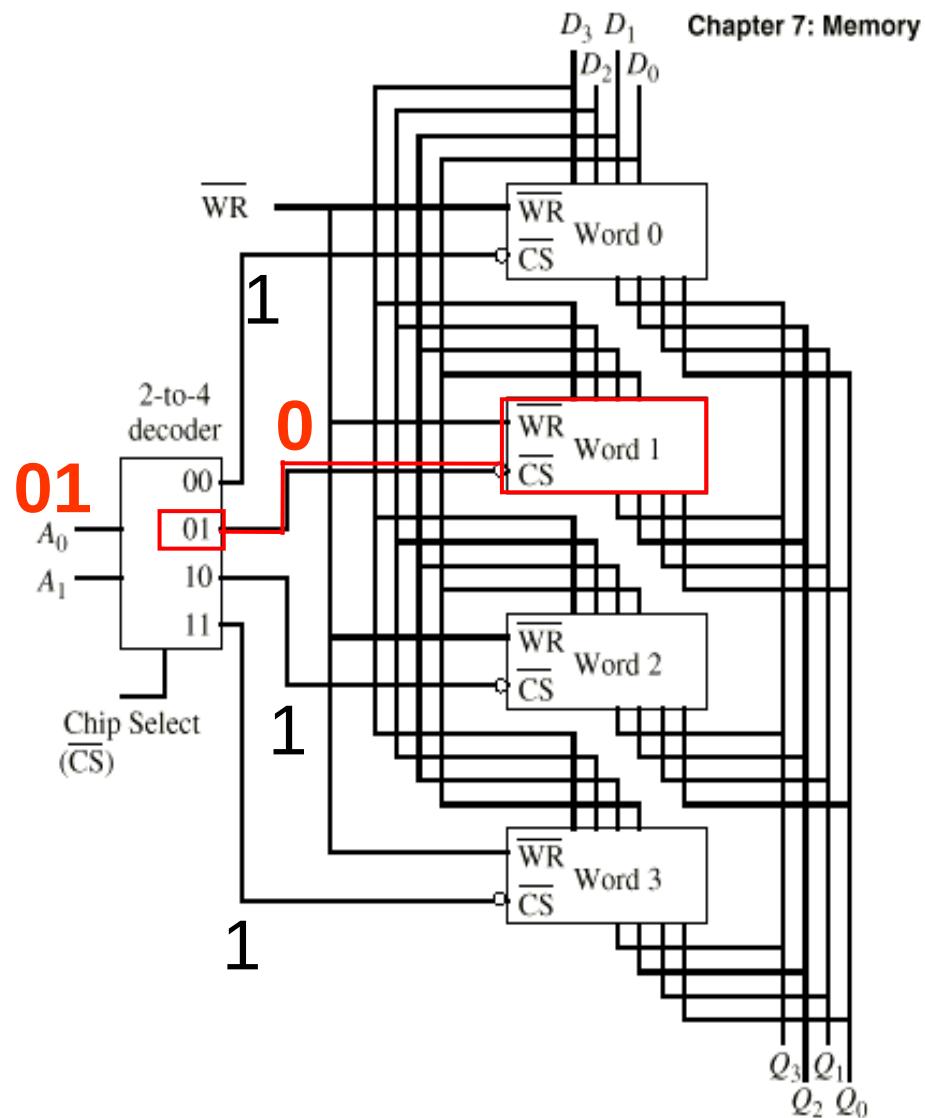


Selezione lineare - RAM quattro parole da 4 bit



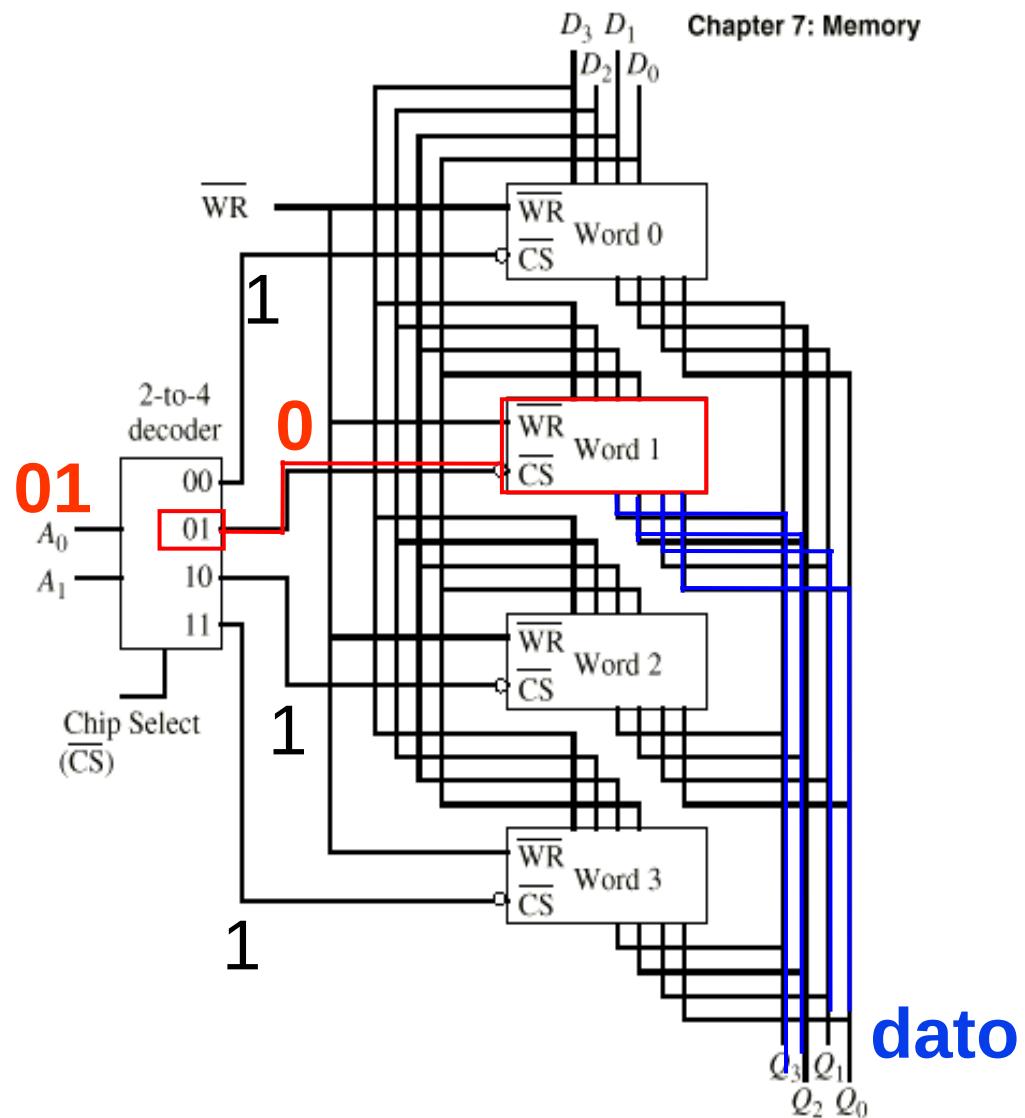
- Ad esempio, immaginiamo di avere una memoria di 4 locazioni, ciascuna di 4 bit.
- L'indirizzo avrà $\log_2(4) = 2$ bit (A₀A₁)
- Ogni locazione è costituita da un registro con un segnale di Chip Select (!CS) che lo abilita in lettura.
- Per leggere da un dato registro occorre abilitarlo (CS=0) e disabilitare tutti gli altri (CS=1)
- Questa operazione è effettuata dal decoder 2-4 posto sull'ingresso indirizzo

Selezione lineare - RAM quattro parole da 4 bit



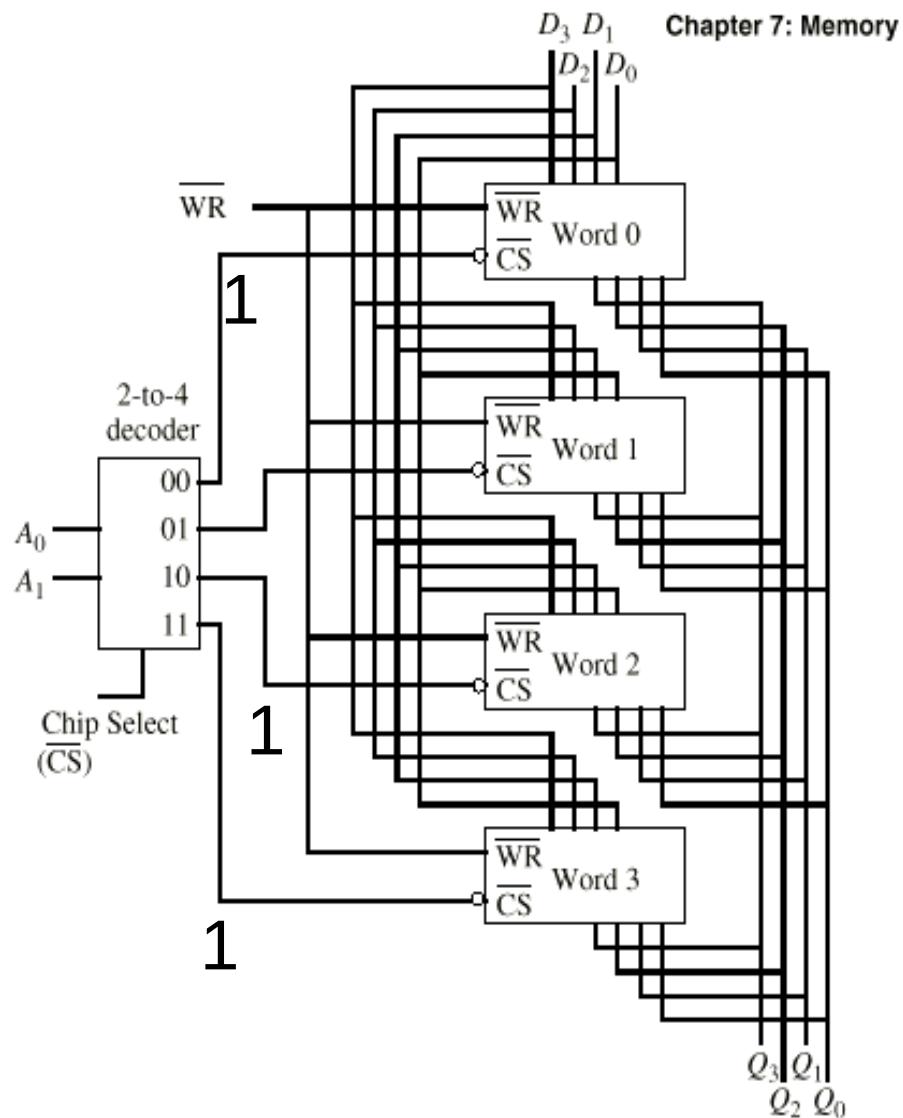
- Se ad esempio viene posto in ingresso l'indirizzo $A_0A_1 = 01$, il decoder (che ha uscite attive basse) abbassa la seconda linea di uscita (corrispondente all'ingresso 01), mentre alza tutte le altre.
- In questo modo, tutti i registri hanno le uscite disabilitate, tranne il secondo, che pone così il suo contenuto sul bus di uscita

Selezione lineare - RAM quattro parole da 4 bit

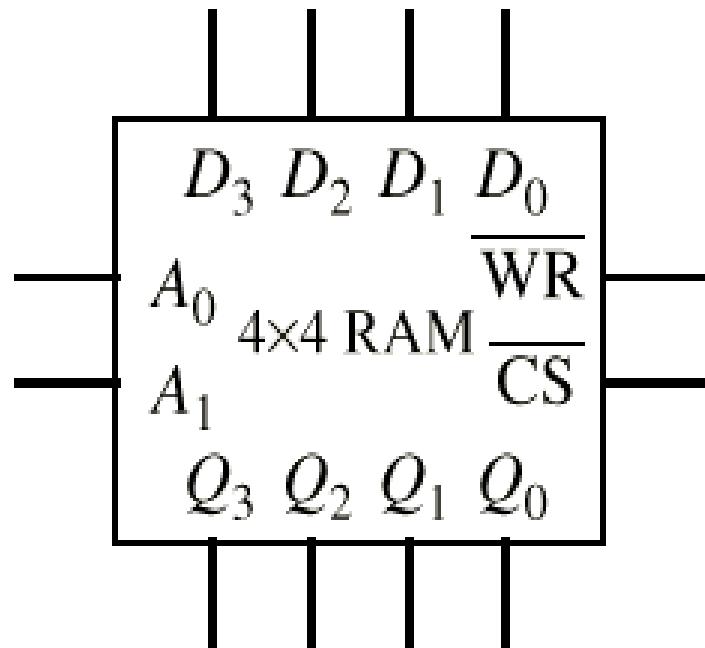


- Il dato contenuto nel secondo registro viene posto in uscita

Selezione lineare - RAM quattro parole da 4 bit

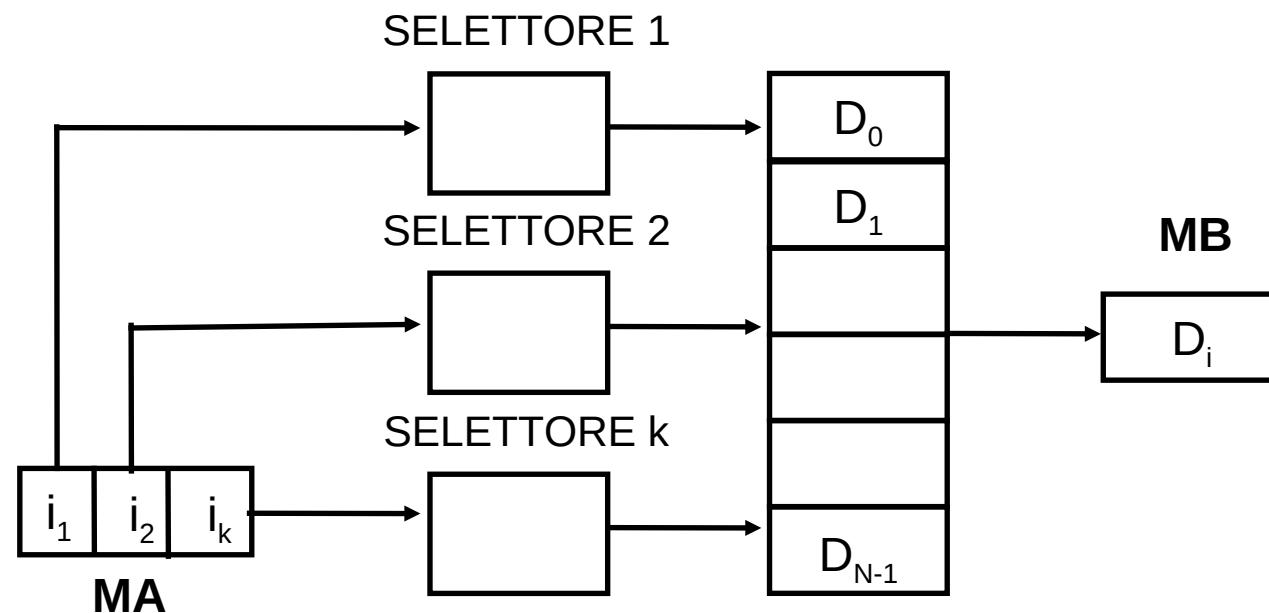


- Rappresentazione semplificata

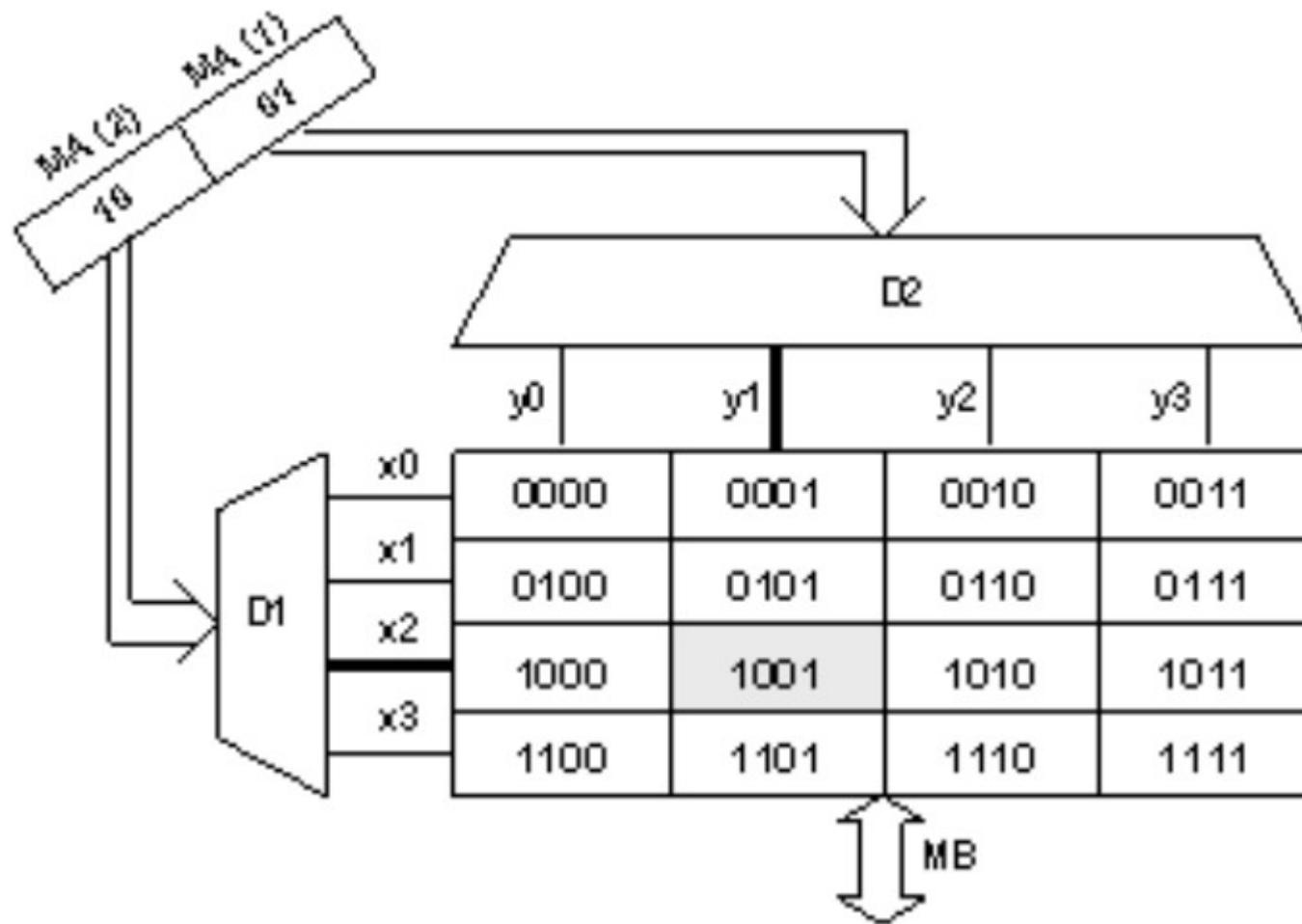


Selezione a più dimensioni – Schema di principio

- Nella selezione *a più dimensioni*, il sistema di selezione è costituito da più sottosistemi, la cui azione combinata seleziona ciascuno degli N registri
- Nella pratica, ciascuno dei selettori può essere realizzato con dei decoder, che operano su un sottoinsieme dei bit dell'indirizzo

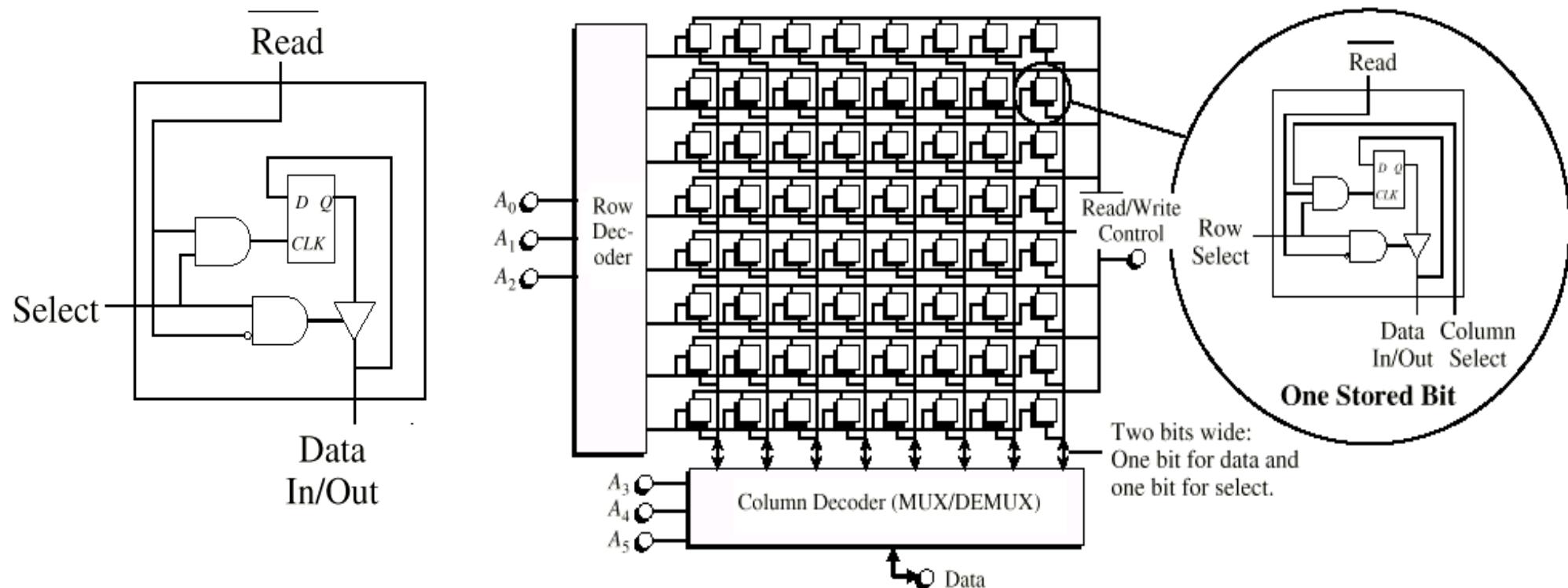


Semiselezione



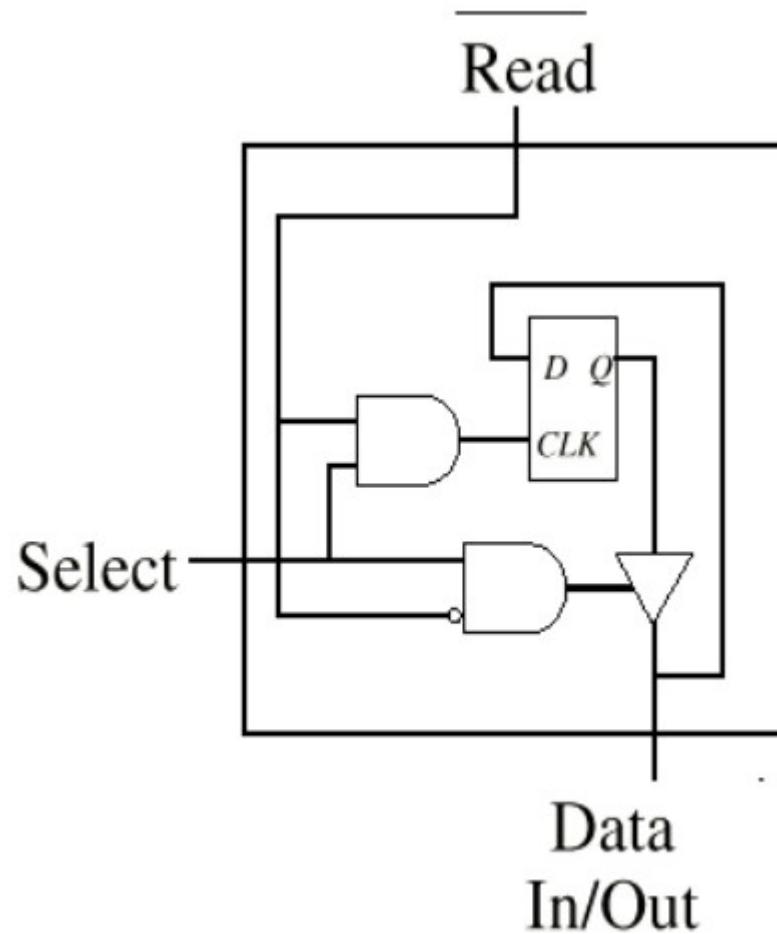
Selezione a più dimensioni – Semiselezione

- Modello funzionale di una singola cella
- Modulo RAM da 64 word di un bit



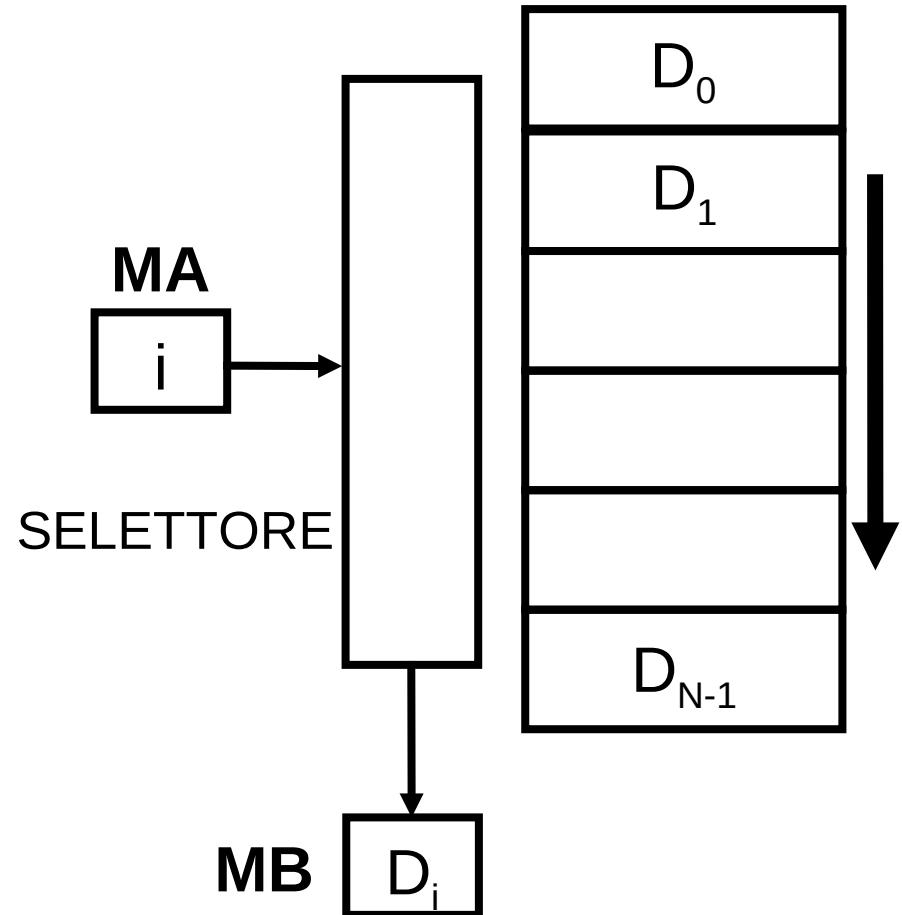
La selezione a due dimensioni (riga/colonna) è la struttura più diffusa nella realtà

Singola cella



Selezione temporale - Schema di principio

- Nella *selezione temporale*, la scrittura e la lettura dei dati avviene in maniera sequenziale
- E' il caso di un nastro magnetico
 - Il tempo necessario per tali operazioni aumenta in maniera lineare all'aumentare delle dimensioni della memoria
 - Anche se implementata mediante strutture estremamente veloci, l'accesso sequenziale non è in grado di offrire prestazioni soddisfacenti



Memorie a lettura e scrittura (RAM)



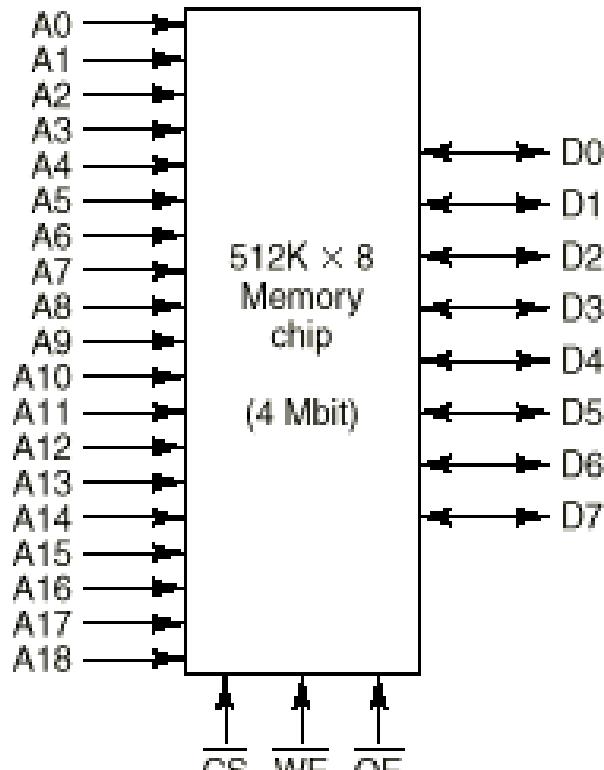
Componenti di una memoria RAM:

- Decodificatore di riga
- Decodificatore di colonna
⇒ selezione a *due dimensioni*
- *Core* di memoria: la matrice di registri fisici
- Circuiti di lettura e scrittura, usati per selezionare, leggere e scrivere nei registri

Esempi di chip di memoria

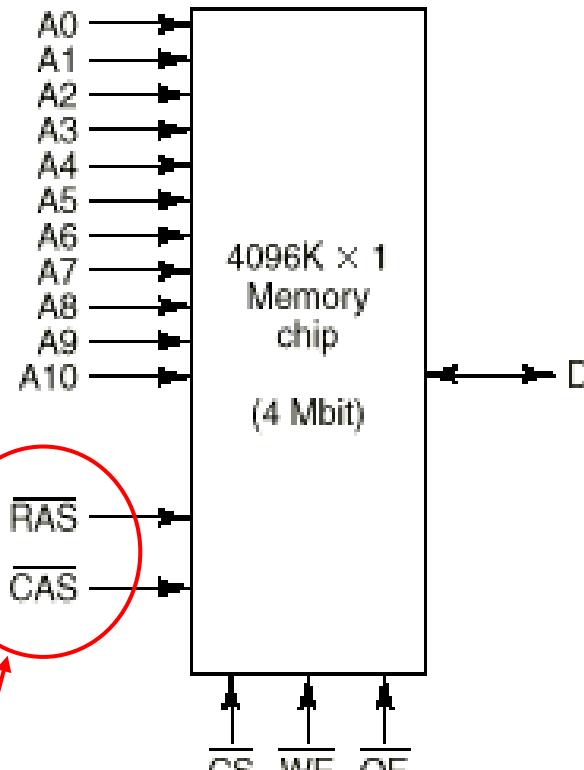


512 K * 8 bit



(a)

4096 K * 1 bit



(b)

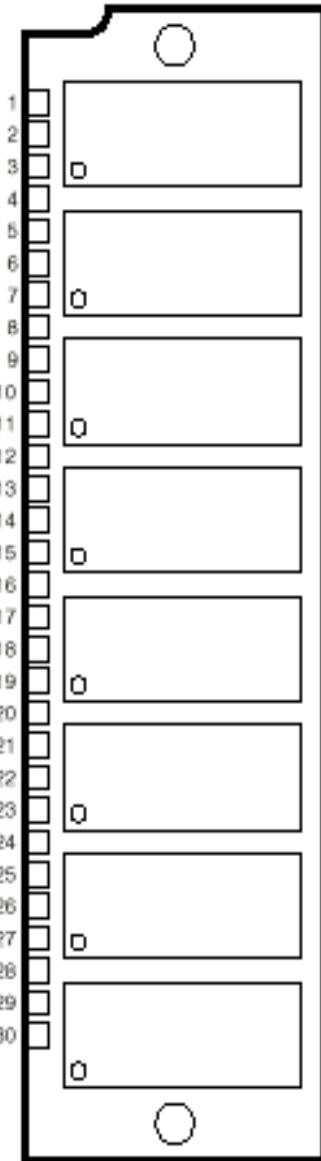
Selezione lineare
(adatto per memorie più piccole)

Selezione a due dimensioni:
RAS: selettore di riga
CAS: selettore di colonna

Esempio di Single-In-Line Memory Module

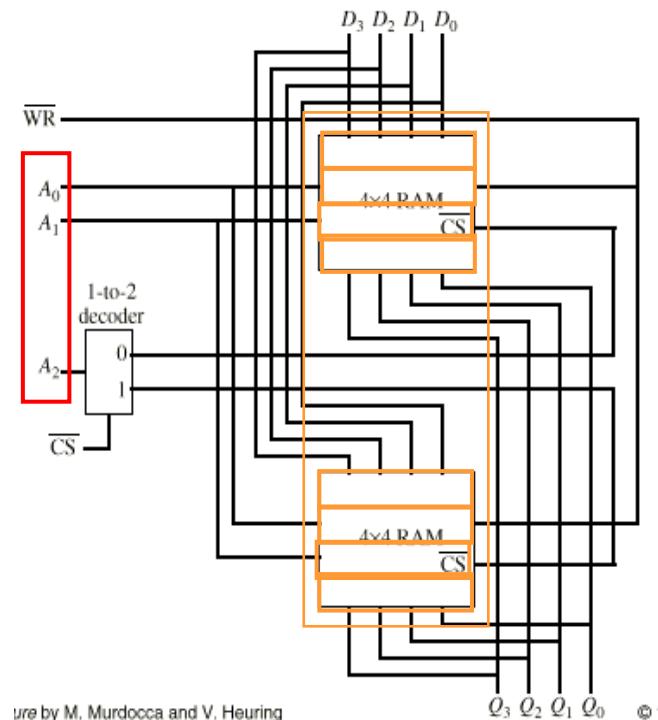
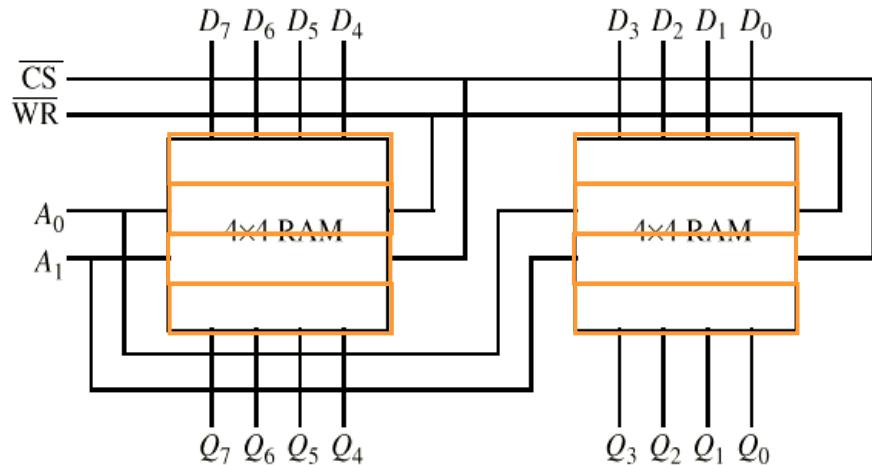
- Adattato da:
 - Texas Instruments MOS Memory: Commercial and Military Specifications DataBook, Texas Instruments, Literature Response Center, P.O. Box 172228, Denver, Colorado, 1991

PIN NOMENCLATURE	
A0-A9	Address Inputs
CAS	Column-Address Strobe
DQ1-DQ8	Data In/Data Out
NC	No Connection
RAS	Row-Address Strobe
V _{CC}	5-V Supply
V _{SS}	Ground
W	Write Enable



Collegamento di moduli di memoria

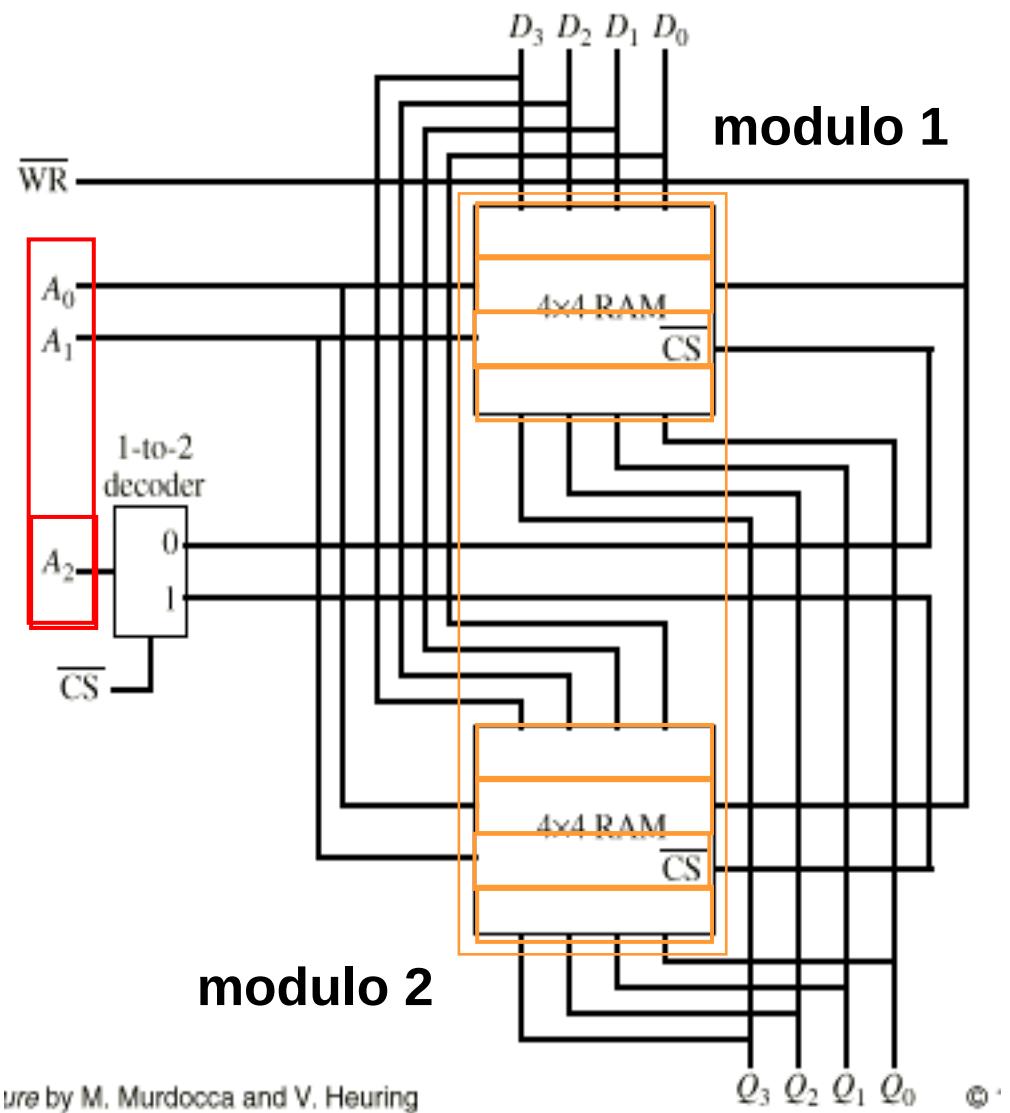
- Due moduli di 4 Word x 4 bit formano una RAM di **4 Word x 8 bit**
 - per aumentare il parallelismo dati più moduli di memoria sono "affiancati" e lavorano insieme
- Due moduli di 4 Word x 4 bit formano una RAM di **8 Word x 4 bit**
 - per aumentare la *profondità* della memoria (ovvero il numero di locazioni) gli stessi due moduli vengono "impilati" e lavorano in maniera mutuamente esclusiva, essendo attivati da differenti combinazioni dell'indirizzo: un bit dell'indirizzo attiva l'uno o l'altro modulo, gli altri due bit sono posti sull'ingresso indirizzo (due bit) di ciascuno dei due moduli



Collegamento di moduli di memoria



A_2	$A_1 A_0$	
0	0 0	il modulo 1 legge la prima parola. Il modulo 2 è disattivato.
0	0 1	il modulo 1 legge la seconda parola. Il modulo 2 è disattivato.
0	1 0	il modulo 1 legge la prima terza. Il modulo 2 è disattivato.
0	1 1	il modulo 1 legge la prima quarta. Il modulo 2 è disattivato.
1	0 0	il modulo 2 legge la prima parola. Il modulo 1 è disattivato.
1	0 1	il modulo 2 legge la seconda parola. Il modulo 1 è disattivato.
1	1 0	il modulo 2 legge la terza parola. Il modulo 1 è disattivato.
1	1 1	il modulo 2 legge la quarta parola. Il modulo 1 è disattivato.



ture by M. Murdocca and V. Heuring

- Parity checking
 - Il modulo è dotato di un bit aggiuntivo per ogni locazione, che memorizza l'informazione di parità calcolata sul valore memorizzato
 - L'informazione di parità viene successivamente controllata dai circuiti di controllo della parità
- Error Correcting Code (ECC) technology
 - Il modulo è dotato di circuiti di memorizzazione aggiuntivi per la memorizzazione di informazioni di ridondanza
 - L'informazione di ridondanza viene successivamente controllata da opportuni circuiti di controllo
 - In determinate circostanze, è possibile correggere gli eventuali errori
- Fake Parity
 - Il modulo è dotato di opportuni circuiti che simulano la creazione ed il controllo delle informazioni di parità
 - In pratica tali informazioni non vengono mai registrate, ma vengono invece generate al volo per ingannare i circuiti di controllo della parità

Memoria a sola lettura (ROM)



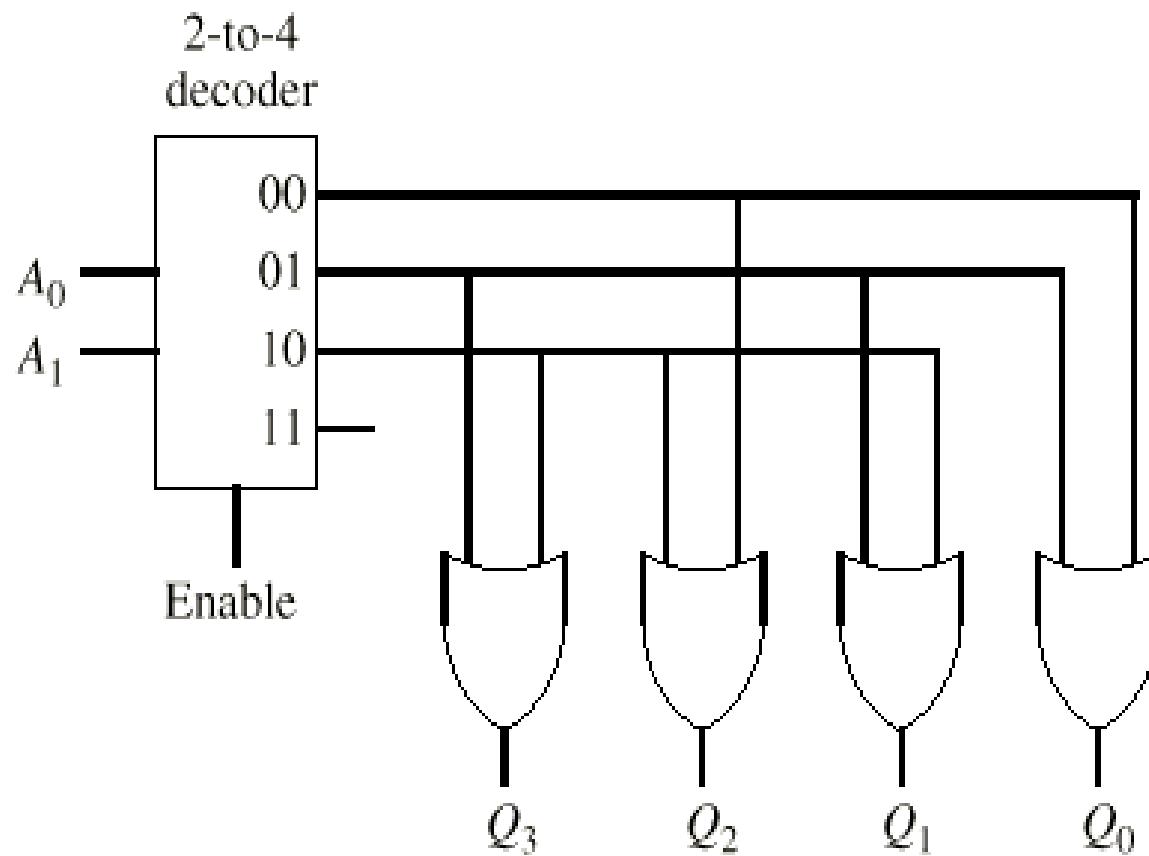
- Circuito che fornisce una serie di **dati** in corrispondenza di una serie di **ingressi**:
 - $(A_0, \dots, A_{n-1}) \rightarrow (D_0, \dots, D_{m-1})$
- È una macchina **combinatoria** (e non sequenziale)
- È in grado di **memorizzare** pattern fissi di dati (e quindi in particolare istruzioni di un programma o dati di una tabella)
- È costituita da:
 - Un circuito di decodifica
 - Un circuito di codifica

Tipi di Memoria a sola lettura

- ROM
 - Vengono programmate in sede di produzione
- PROM (Programmable ROM)
 - Possono essere programmate dall'utente
- EPROM (Erasable Programmable ROM)
 - Possono essere programmate (elettricamente) e cancellate (radiazioni ultraviolette) dall'utente
- EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM)
 - Possono essere programmate (elettricamente) e cancellate (elettricamente) dall'utente
- Flash
 - Possono essere riprogrammate moltissime volte

Esempio di modulo di memoria ROM

- 4 word by 4 bit ROM



Location	Stored word
00	0101
01	1011
10	1110
11	0000

Gerarchia di Memoria



- All'interno di un calcolatore sono presenti differenti dispositivi di memorizzazione:
- Registri
 - molto veloci, fortemente accoppiati al processore, presenti in numero molto limitato
- Memorie allo stato solido (realizzate su silicio)
 - veloci (più o meno a seconda delle tecnologie), meno accoppiate dal processore, disponibili in media quantità, relativamente costose
- Dispositivi di memorizzazione di massa (ad es. dischi)
 - ordini di grandezza più lenti delle memorie, in grado di contenere ampie moli di dati, relativamente economici (rispetto alla capacità)
- Ogni dispositivo bilancia variamente *velocità* con *quantità*

Gerarchia di Memoria



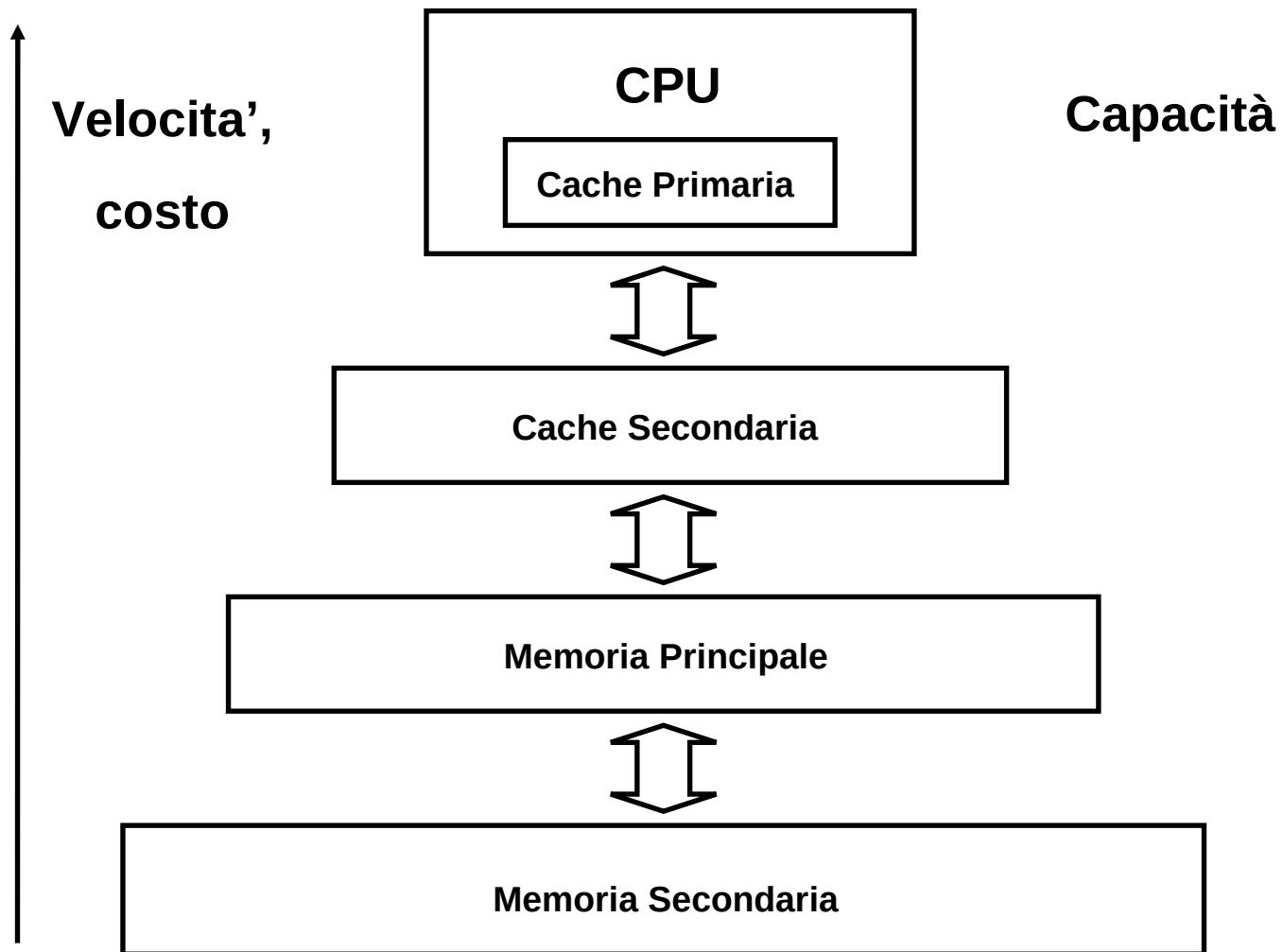
- A loro volta, le memorie allo stato solido possono essere realizzate in diverse tecnologie:
 - Static RAM (SRAM)
 - più costose rispetto alla capacità, ma più veloci
 - Dynamic RAM (DRAM)
 - relativamente economiche rispetto alla capacità, più lente delle SRAM, ma ancora molto più veloci dei dischi
- Le memorie RAM allo stato solido sono usate per realizzare la memoria principale e le cache
 - *cache*: memoria direttamente connessa al processore, veloce e di piccole dimensioni, nella quale vengono collocati i dati usati più di frequente dal programma in esecuzione

Gerarchia di Memoria

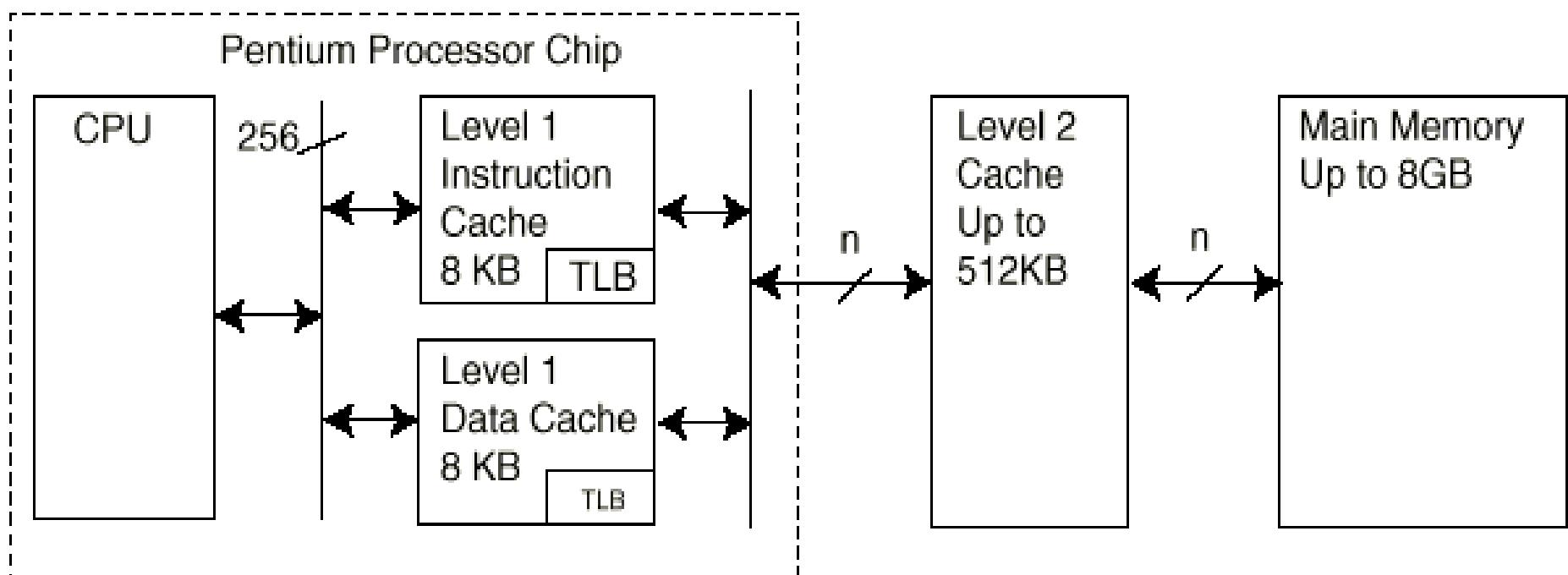


- La memoria “vista” dal processore può essere strutturata secondo una gerarchia a piramide
 - le memorie più costose e veloci sono direttamente accessibili al processore: registri, cache di primo livello (realizzate con SRAM), cache di secondo e terzo livello (SRAM o DRAM), memoria principale (DRAM), dischi
- I dati usati più di frequente sono ospitati nelle memorie più piccole (registri, cache..) ma più vicine al processore.
- All’occorrenza, i dati vengono spostati dai livelli bassi (ad es. il disco, o la memoria principale) in quelli più alti (ad es. la memoria principale, o la cache), per essere gestiti più velocemente dal processore.
- I trasferimenti possono avvenire in maniera parallela rispetto al funzionamento del processore

Gerarchia di Memoria



La gerarchia di memoria del Pentium



Tecnologie realizzative ed usi delle memorie



- Riassumendo: le memorie possono differire per caratteristiche strutturali, funzionali, tecnologiche
- La tabella sottostante sintetizza alcune delle caratteristiche delle tecnologie di memoria normalmente usate nella costruzione di un elaboratore

Type	Category	Erasure	Byte alterable	Volatile	Typical use
SRAM	Read/write	Electrical	Yes	Yes	Level 2 cache
DRAM	Read/write	Electrical	Yes	Yes	Main memory
ROM	Read-only	Not possible	No	No	Large volume appliances
PROM	Read-only	Not possible	No	No	Small volume equipment
EPROM	Read-mostly	UV light	No	No	Device prototyping
EEPROM	Read-mostly	Electrical	Yes	No	Device prototyping
Flash	Read/write	Electrical	No	No	Film for digital camera