



Le memorie Cache n-associative

Prof. Alberto Borghese
Dipartimento di Scienze dell'Informazione
alberto.borghese@unimi.it

Università degli Studi di Milano

Riferimento Patterson: 5.2, 5.3



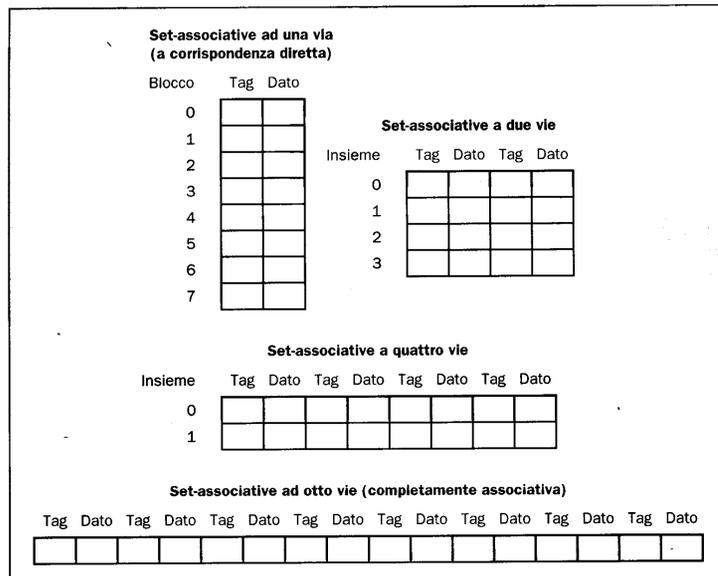
Sommario

Memorie n-associative

SRAM



Dalle cache a mappatura diretta alle cache associative



Accesso a cache ad n-vie



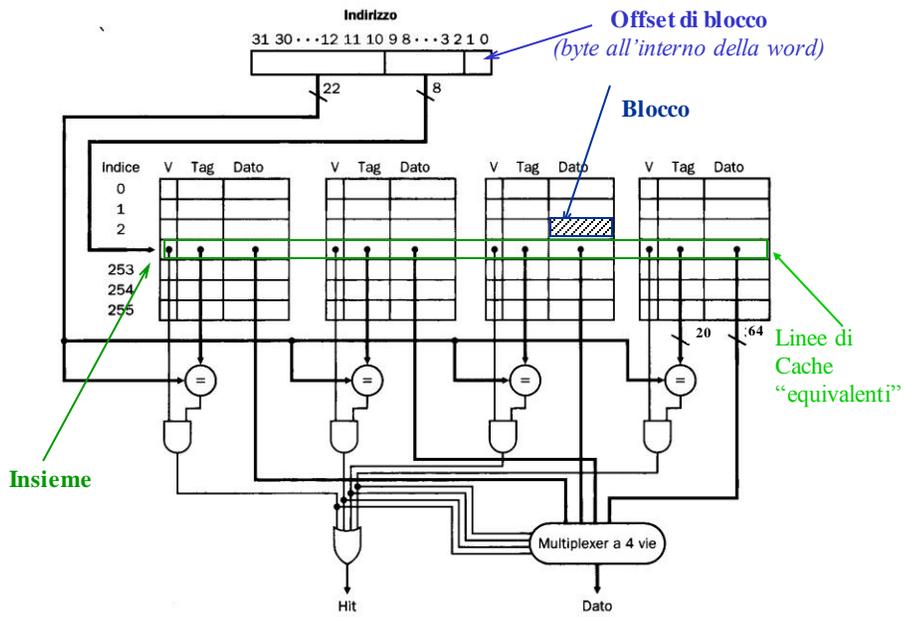
INDICE. Se la parola richiesta è memorizzata in cache, si trova in una particolare linea di uno dei bank. Questa linea è individuata dall'indice. L'indice è costituito da k bit, dove $k = \log_2(\#linee)$. È analogo al numero di linea nelle cache a mappatura diretta.

TAG – contiene il blocco della RAM a cui appartiene il dato. Cerca il tag di Memoria Principale all'interno dei TAG associati alla linea individuata in ciascun banco.

L'insieme dei segnali di HIT pilotano anche il MUX che trasferiscono in uscita il contenuto del banco opportuno della cache.



Memorie set-associative

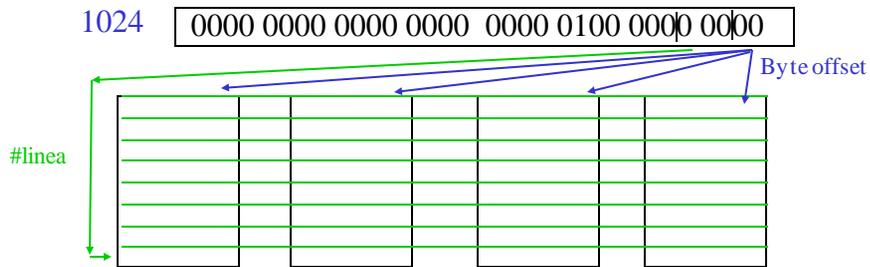


Memorie n-associative con blocchi di 1 parola



Esempio: cache di 4 banchi, ciascuno di 8 linee. Parola di cache = 1 word, non c'è offset nel blocco.

Come viene elaborato l'indirizzo: lw 0(\$s0)? \$s0 = 1024



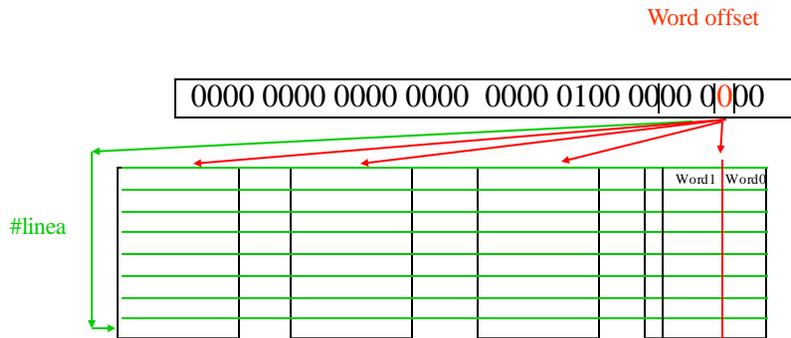


Memorie n-associative con blocchi di 2 parole

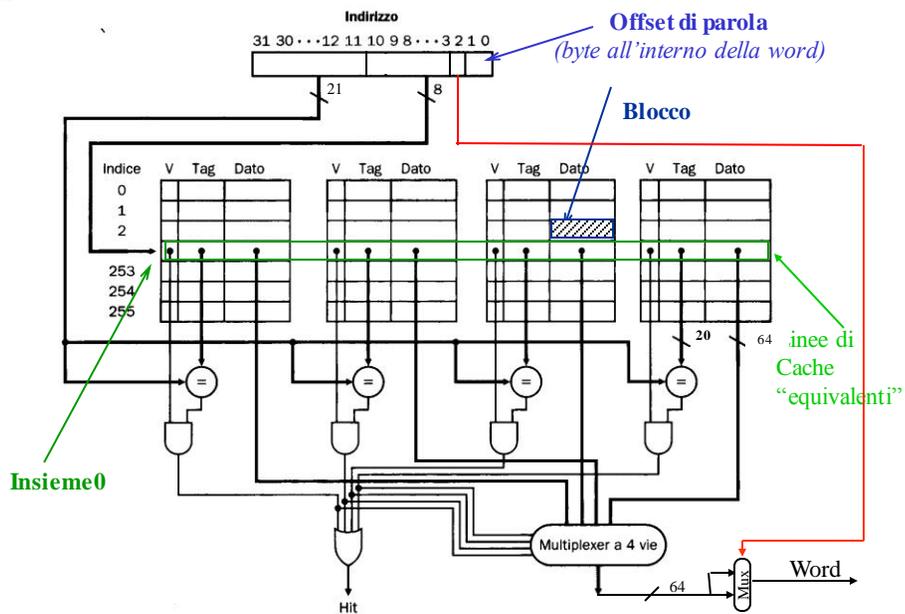


Esempio: cache di 4 banche, ciascuno di 8 linee. Parola di cache = 2 word.

Come viene elaborato l'indirizzo: lw 0(\$s0)? \$s0 = 1024



Memorie set-associative





Criteri di sostituzione di un blocco



Dove inserisco il blocco letto dalla RAM?

Soluzione hardware, algoritmo semplice.

LRU – Least recently Used. Viene associato ad ogni blocco un bit di USE.

Efficiente per memorie a 2 vie.

FIFO – Implementazione tramite buffer circolare.

LFU – Least frequently Used. Associa un contatore ad ogni blocco di cache.

RANDOM – Non funziona molto peggio!!



Dove si può posizionare un blocco di RAM in cache?



Corrispondenza diretta: in un'unica posizione.

Memoria ad 1 via.

#posizioni = #linee.

Completamente associative: in n posizioni (n banchi).

Ciascun banco è costituito da 1 linea.

n insiemi o banchi.

N-associative: in m posizioni (m grado di associatività).

Ho m insiemi (banchi)

Ciascun insieme è costituito da n linee.



Come si trova un blocco di RAM in cache?



Corrispondenza diretta: indicizzazione.
Controllo del tag del blocco (1 comparazione).

Associativa: ricerca in tutti gli elementi della cache.
 n comparazioni: controllo di tutti i tag.
La memoria virtuale è di questo tipo (tramite la *Page Table*).

N-associativa: ricerca negli m insiemi,
 m comparazioni.



Sommario



Memorie n-associative

SRAM



Memoria Principale



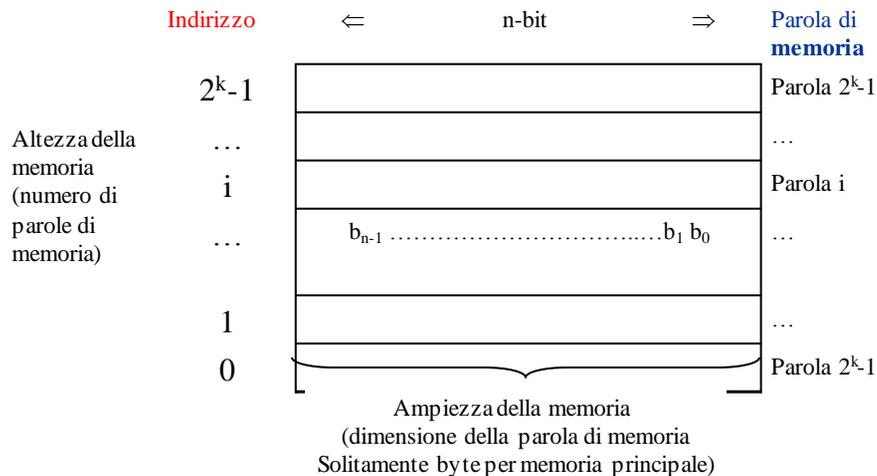
- Le memorie in cui ogni locazione può essere raggiunta in un breve e prefissato intervallo di tempo misurato a partire dall'istante in cui si specifica l'indirizzo desiderato, vengono chiamate memorie ad accesso casuale (*Random Access Memory – RAM*)
- Nelle RAM il *tempo di accesso alla memoria* (tempo necessario per accedere ad una parola di memoria) è *fisso e indipendente* dalla posizione della parola alla quale si vuole accedere.
- Il contenuto delle locazioni di memoria può rappresentare sia istruzioni che dati, sui quali l'architettura sta lavorando.
- La memoria può essere visto come un array monodimensionale.



La memoria



- La memoria è vista come un unico grande array uni-dimensionale.
- Un **indirizzo di memoria** costituisce un **indice** all'interno dell'array.





Indirizzi nella memoria principale



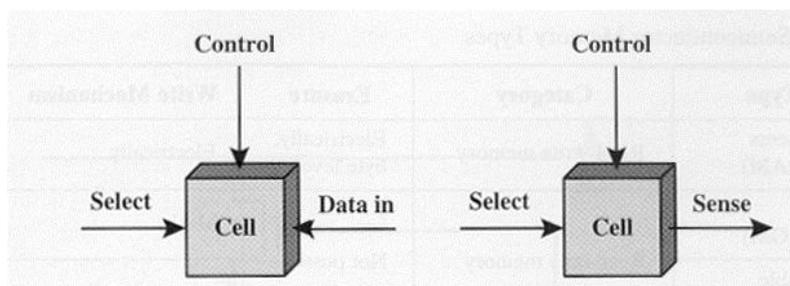
- La memoria è organizzata in *parole* composte da n -bit che possono essere indirizzati separatamente.
- Ogni **parola** di memoria è associata ad un **indirizzo** composto da k -bit.
- I 2^k indirizzi costituiscono lo *spazio di indirizzamento* del calcolatore. Ad esempio un indirizzo composto da 32 -bit genera uno spazio di indirizzamento di 2^{32} o 4Gbyte .
- Ottimizzazione della struttura
 - Tecnologia three-state
 - Struttura a matrice



Cella di memoria



La memoria è suddivisa in celle, ciascuna delle quali assume un valore binario stabile.
Si può scrivere il valore 0/1 in una cella.
Si può leggere il valore di ciascuna cella.

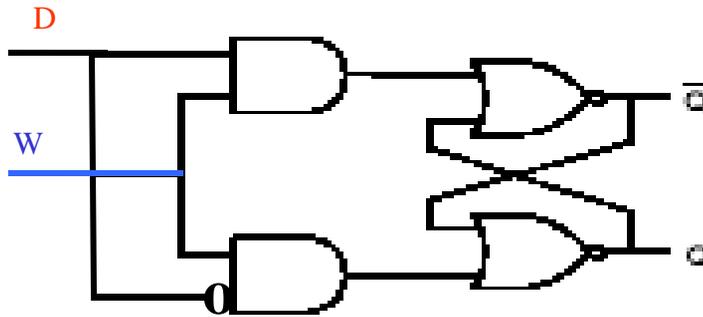


Quale struttura di memoria abbiamo già incontrato?

Control (lettura – abilitazione; scrittura)
Select (cf. dataport)
Data in & Sense (Data in & Data out).



Cella SRAM



Selezione (porta di lettura e porta di scrittura)
 Lettura - sempre disponibile in uscita
 Scrittura - segnale esplicito (in AND con il clock in caso di cella sincrona).



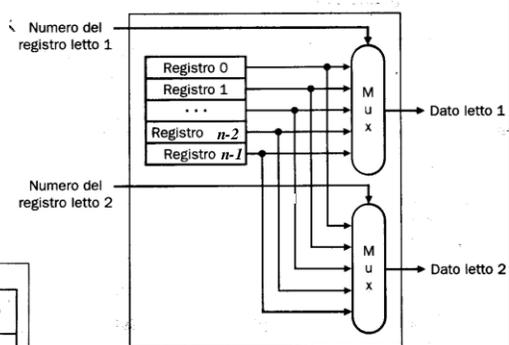
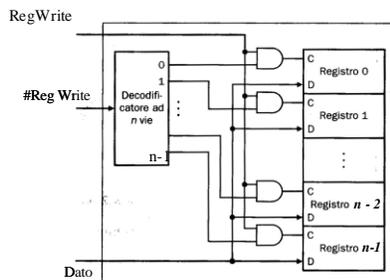
Register file



Il tempo di lettura dipende dal cammino critico dei Mux.

Il tempo di scrittura dipende dal cammino critico del Decoder.

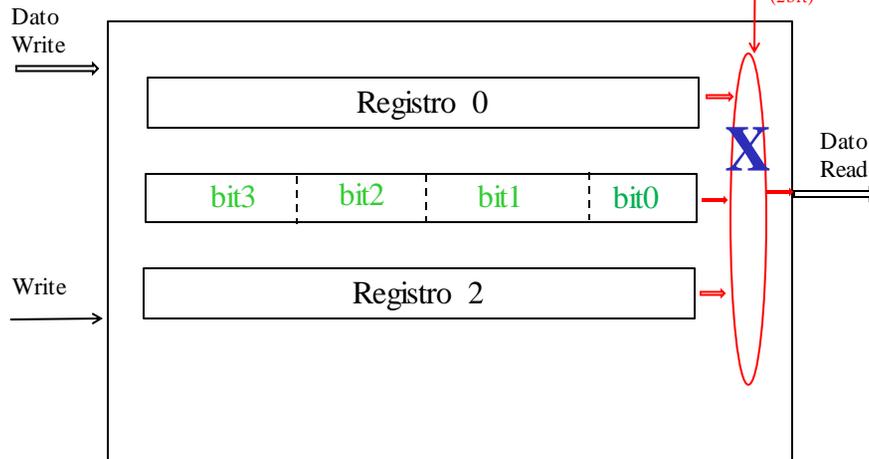
Numero_registro = selettore.



Selezione - #registro
 Lettura - sempre disponibile in uscita (dopo tempo di commutazione del MUX)
 Scrittura - segnale esplicito (in AND con il clock in caso di cella sincrona).



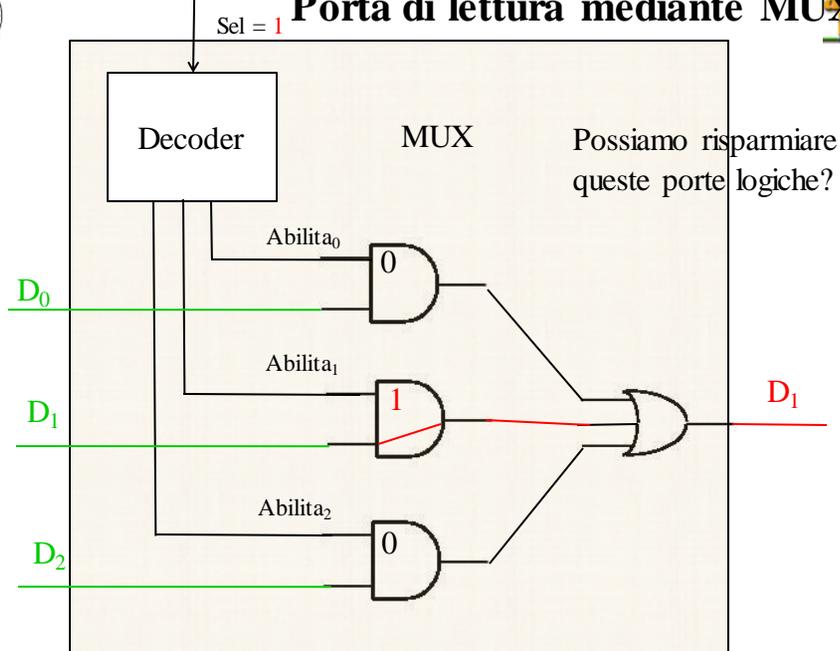
Letture da un banco di registri



Seleziono uno dei registri = porto in uscita l'uscita Q di tutti i bit del registro selezionato
Avrò tanti Mux quanti sono i bit che costituiscono il registro (**Voglio eliminare questo mux**)

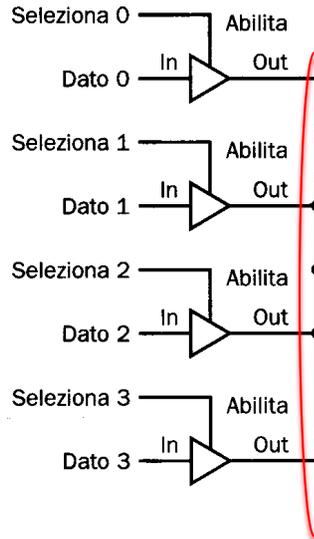


Porta di lettura mediante MUX



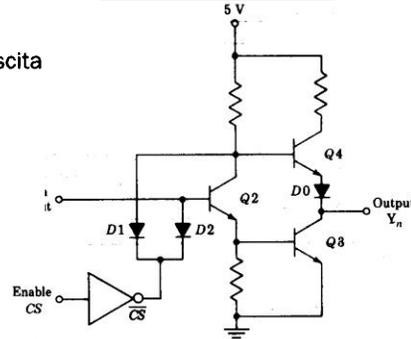


Memoria three-state (soluzione HW)

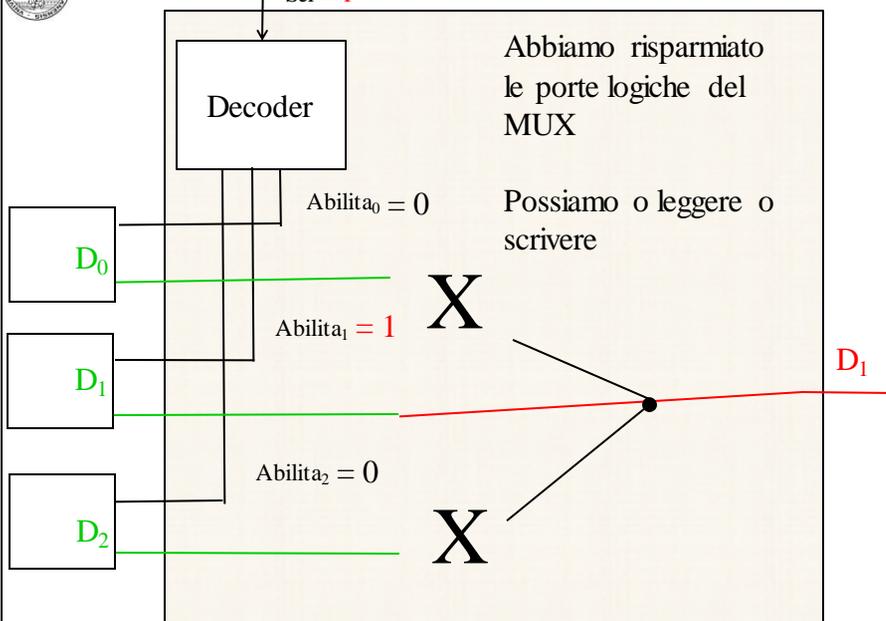


Tutte le uscite delle celle sono collegate ad un'uscita comune => E' necessario evitare conflitti fra le uscite.

Stadio di uscita "isolata" con porte di uscita *three-state*
 Selezione una sola cella alla volta



Porta di lettura three state



Abbiamo risparmiato le porte logiche del MUX

Possiamo o leggere o scrivere

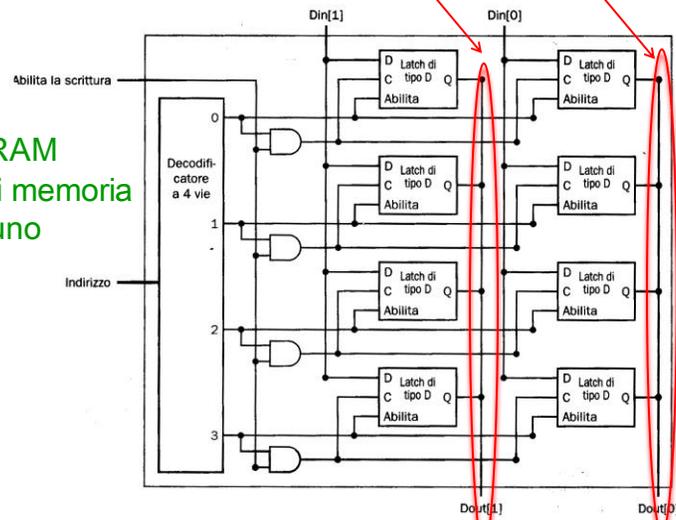


Esempio di SRAM

Risparmio il Mux di uscita



Esempio: SRAM
4 elementi di memoria
x 2 bit ciascuno



Problemi con il crescere del numero di linee. Esempio: SRAM $2M \times 16$ ($2M$ elementi x 16 bit)
Decodificatore a 21 ($\log_2 2M$) bit. 16 uscite. $2M$ linee di abilitazione e di selezione (ingresso C) dei bistabili.



Migliore strutturazione



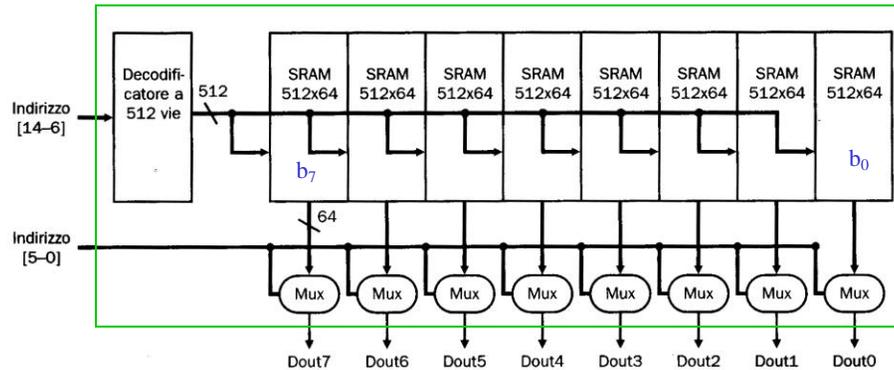
- C'è un limite elettrico al numero di linee che si possono collegare assieme.
- È più conveniente separare la lettura delle linee dalla lettura delle colonne (estrazione di una linea «lunga» dalla memoria).



Indirizzamento SRAM a matrice



Esempio: SRAM 32K x 8 bit. Trasformo 32K linee in una matrice: 512 linee x 64 elementi. Ciascun elemento della matrice contiene 8 bit.



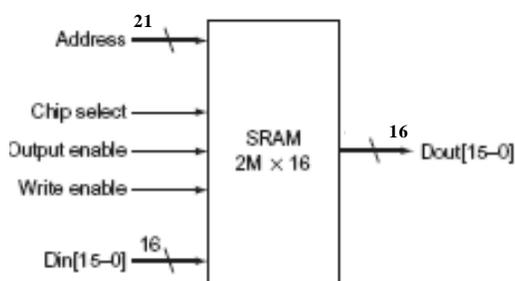
Il decodificatore sarà a 9 bit ($\log_2 512$) per selezionare una delle 512 linee (cf. cache). Ciascuna linea fornisce 64 bit. Ne seleziono uno con il Mux (controllato dai 6 bit meno significativi).

Nell'approccio non a matrice avrei avuto bisogno di un decodificatore a 15 bit ($\log_2 32K$). Qual è il vantaggio?

Quale gruppo di 64 bit associati al b_j bit della parola su 8 bit leggo dalle SRAM?



Chip di SRAM (2M x 16)



Tempo di accesso:
da Address a Dout.

Selezione – indirizzo + Chip select.

Scrittura – Write enable.

Letture – Output enable.

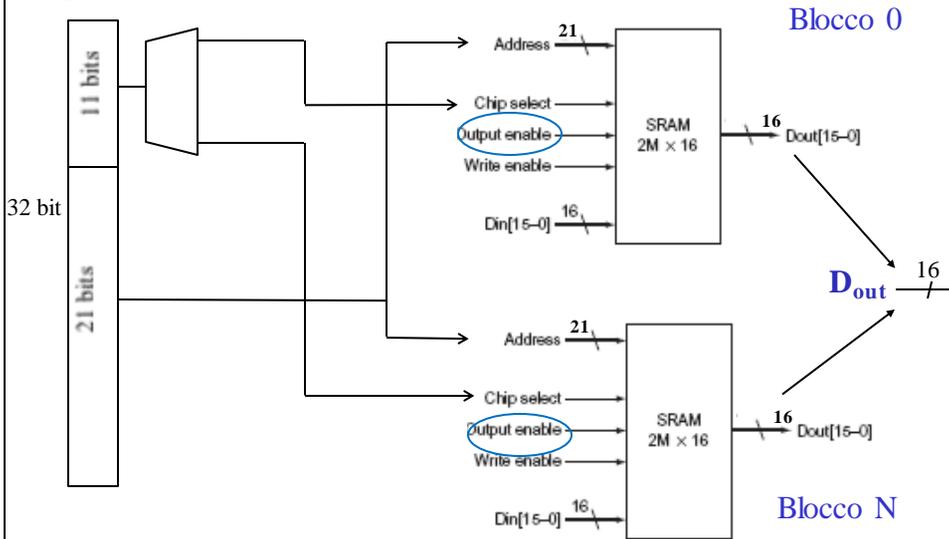
E' una memoria veloce, ma costosa.



Memoria RAM come insieme di chip



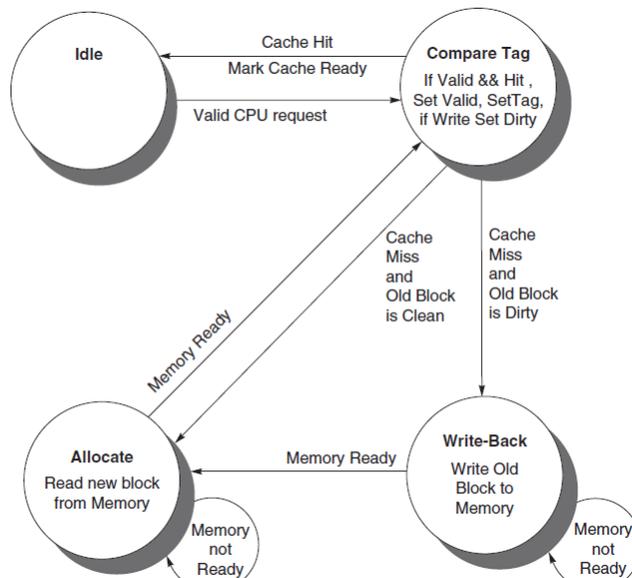
Capacità totale = $2M * N$ Byte



Questi chip “tappezzano” la struttura logica della memoria



Controllore di una memoria cache



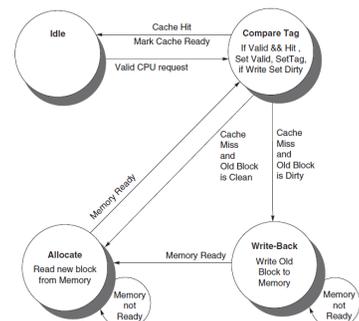


Funzionamento del controller



4 STATES:

- **Idle:** waits for a valid read/write from the processor
- **Compare tags:** identify the cache line and check TAG and validity bit.
 - HIT -> tag is found and line is valid
 - MISS -> tag is not found.
 - Dirty bit is set to 1 → the line has to be copied in Main Memory before overwriting (write-back)
 - Dirty bit is set to 0 → the data can be immediately be transferred from Main Memory (write allocate)
- **Allocate:** Read a new cache line from main memory into cache.
- **Write-Back:** Write old cache line into main memory.



Controllore di una memoria cache



Macchina a stati finiti:

Stati = { Idle, CompareTag, Write-Back, Allocate }

Input = { Valid_CPU_Request, Cache_Hit, Dirty, Memory_Ready }

Uscite = { Read_new_Block, Write_old_block, SetHit, SetMiss, SetValid, SetTag, SetDirty }

NB SetDirty imposta il bit "Dirty", ma costituisce anche un input.

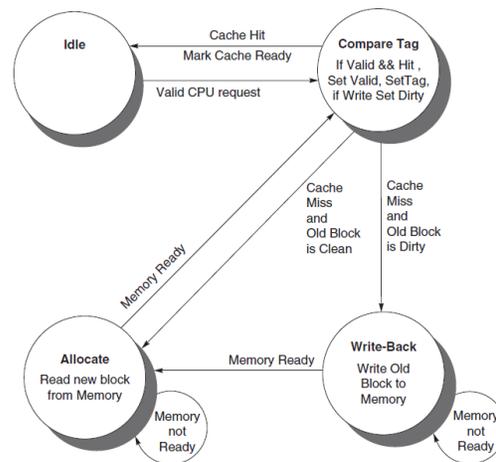
Stato iniziale: idle.

Stato prossimo: $f(x,u)$

Uscita: $g(x)$



Controllore di una memoria cache



Sintetizzare come macchina di Huffman



Sommario

Memorie n-associative

SRAM