

LSS 2018-19: Reti Logiche: circuiti combinatori

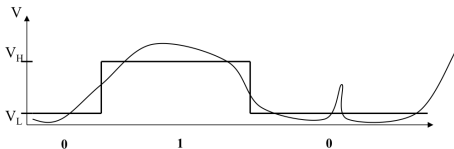
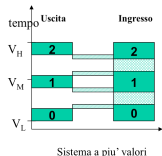
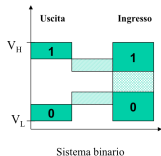
Piero Vicini

A.A. 2018-2019

Argomenti:

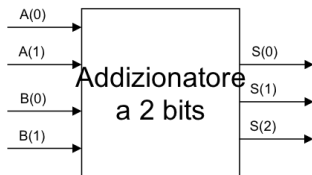
- Codici e aritmetica
- Operatori dell'algebra booleana
- Minimizzazione e sintesi di funzioni
- Esempi di implementazione hardware di circuiti combinatori

- Computers operano con segnali elettrici con valori discreti di potenziale
- Significativi soltanto 2 valori (intervalli) di potenziale elettrico (high/low, true/false, 1/0)
- Gli elementi elettronici binari sono semplici per definizione (interruttori...)
- Algebra di Boole permette di modellare il funzionamento dei circuiti elettronici binari.



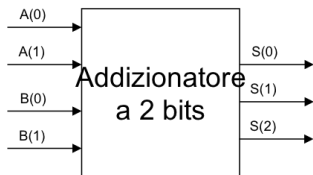
- Un *blocco logico* e' un circuito elettronico con linee in input e output a cui sono associate variabili binarie.
- Il circuito calcola *funzioni logiche* come combinazioni di operazioni algebriche booleane sulle variabili in input.
- Due classi: circuiti *combinatori* e circuiti *sequenziali*

- Un *blocco logico* e' un circuito elettronico con linee in input e output a cui sono associate variabili binarie.
- Il circuito calcola *funzioni logiche* come combinazioni di operazioni algebriche booleane sulle variabili in input.
- Due classi: circuiti *combinatori* e circuiti *sequenziali*

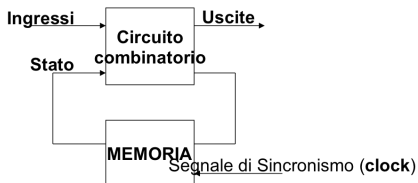


L'uscita di un circuito combinatorio e' determinata completamente dal valore istantaneo della combinazione degli ingressi

- Un *blocco logico* e' un circuito elettronico con linee in input e output a cui sono associate variabili binarie.
- Il circuito calcola *funzioni logiche* come combinazioni di operazioni algebriche booleane sulle variabili in input.
- Due classi: circuiti *combinatori* e circuiti *sequenziali*



L'uscita di un circuito combinatorio e' determinata completamente dal valore istantaneo della combinazione degli ingressi



Un circuito sequenziale e' un sistema composto da circuiti combinatori e *elementi di memoria* in cui le uscite sono una funzione del valore degli ingressi e dello *stato passato* del circuito.

- La funzione logica di un circuito combinatorio e' completamente descritta e specificata da una *tavola della verita'*

- Dati n bits di ingresso, il numero delle configurazioni possibili degli ingressi e' 2^n
- La tavola possiede quindi 2^n righe con valore delle uscite per quella particolare combinazione degli ingressi.

A(1)	A(0)	B(1)	B(0)	C(2)	C(1)	C(0)
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1	1
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	1	1
1	0	1	0	1	0	0
1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	1	0

- La rappresentazione decimale di numeri interi positivi e' una rappresentazione **posizionale** in base **10**

$$(288)_{10} = 2 * 10^2 + 8 * 10^1 + 8 * 10^0$$

- il cui intervallo va da 0 a $10^N - 1$, con N uguale all'estensione della rappresentazione

- La rappresentazione decimale di numeri interi positivi e' una rappresentazione **posizionale** in base **10**

$$(288)_{10} = 2 * 10^2 + 8 * 10^1 + 8 * 10^0$$

- il cui intervallo va da 0 a $10^N - 1$, con N uguale all'estensione della rappresentazione

- In perfetta equivalenza anche la rappresentazione binaria e' posizionale ma in base **2**. Dato un numero a n bits:

$$(x)_2 = x_{n-1}2^{n-1} + x_{n-2}2^{n-2} + \dots + x_12^1 + x_02^0$$

- dove l'intervallo e' $0 : 2^n - 1$
- A 32 bits l'intervallo va da 0 a +4.294.967.295

- Esempio:

$$\begin{aligned} & 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 0000\ 1011_2 \\ & = 0 + \dots + 1 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 \\ & = 0 + \dots + 8 + 0 + 2 + 1 = 11_{10} \end{aligned}$$

- Lo stesso ragionamento vale anche per la rappresentazione di numeri frazionari.
- In base 10:

$$(0.571)_{10} = \dots + 5 * 10^{-1} + 7 * 10^{-2} + 1 * 10^{-3}$$

- In base 2:

$$(0.00101)_2 = \dots + 0 * 2^{-1} + 0 * 2^{-2} + 1 * 2^{-3} + 0 * 2^{-4} + 1 * 2^{-5}$$

- La rappresentazione esadecimale e' un codice la cui base e' 16
- E' una rappresentazione compatta per stringhe di bit

0	0000	4	0100	8	1000	c	1100
1	0001	5	0101	9	1001	d	1101
2	0010	6	0110	a	1010	e	1110
3	0011	7	0111	b	1011	f	1111

- Ogni gruppo di 4 bits viene rappresentato da una cifra *Hex*
- Esempi:

C1A0 C1A0 = 1100 0001 1010 0000 1100 0001 1010 0000

- La rappresentazione esadecimale e' un codice la cui base e' 16
- E' una rappresentazione compatta per stringhe di bit

0	0000	4	0100	8	1000	c	1100
1	0001	5	0101	9	1001	d	1101
2	0010	6	0110	a	1010	e	1110
3	0011	7	0111	b	1011	f	1111

- Ogni gruppo di 4 bits viene rappresentato da una cifra *Hex*
- Esempi:

C1A0 C1A0 = 1100 0001 1010 0000 1100 0001 1010 0000

???? ???? = 1111 1110 1101 1110 1100 1110 1100 1010

Numeri *signed* complemento a 2

- Dato un numero ad n bit:

$$x = -x_{n-1}2^{n-1} + x_{n-2}2^{n-2} + \dots + x_12^1 + x_02^0$$

- l'intervallo e' -2^{n-1} a $2^{n-1} - 1$

- Esempio:

- $1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1111\ 1100_2$
 $= -1 * 2^{31} + 1 * 2^{30} + \dots + 1 * 2^3 + 1 * 2^2 + 0 * 2^1 + 0 * 2^0$
 $= -2.147.483.648 - 2.147.483.644 = -4_{10}$

- A 32 bits l'intervallo va da $-2.147.483.648$ a $+2.147.483.647$

Numeri *signed* complemento a 2 (continua)

- Il bit 31 e' il bit di segno: 1 per negativi, 0 per positivi
- la rappresentazione non e' completa i.e. intervallo non simmetrico: $-(-2^{n-1})$????
- I numeri non-negativi hanno la stessa rappresentazione unsigned e 2s-complement (utile per aritmetica...)
- Alcuni numeri specifici:
 - 0 : 0000 0000 ... 0000
 - -1 : 1111 1111 ... 1111
 - Massimo numero negativo: 1000 0000 ... 0000
 - Massimo numero positivo: 0111 1111 ... 1111

Per passare dal numero positivo al suo equivalente negativo (e viceversa) si effettua un'operazione di complementazione e somma (+1) numeri negativo

- *Complementare* un numero binario significa invertirne tutti i bit

$$x + \bar{x} = 1111 \dots 111_2 = -1$$

$$\bar{x} + 1 = -x$$

- Esempio negazione di +2

- $+2 = 0000\ 0000 \dots 0010_2$

- $-2 = 1111\ 1111 \dots 1101_2 + 1$
 $= 1111\ 1111 \dots 1110_2$

Abbiamo imparato alle scuole elementari che addizione e sottrazione si eseguono così'

Addizione

$$\begin{array}{r} 111111 \\ 1011011000000 + \\ 1011011000000 = \\ \hline 100010001000000 \end{array}$$

Sottrazione (come in base 10 ma occhio ai "prestiti")

$$\begin{array}{r} 1\ 1\ 1 \\ 1\ 0\ 0\ 0 - \quad (8) \\ 0\ 1\ 0\ 1 = \quad (5) \\ \hline 0\ 0\ 1\ 1 \end{array}$$

Moltiplicazione

$$\begin{array}{r} 1111 * \\ 1111 = \\ \hline 1111 \\ 1111 \\ 1111 \\ 1111 \\ \hline 11100001 \end{array}$$

Estensione di segno: se $N < 0$ si riempie a sinistra di 1 altrimenti di 0

$$\begin{array}{r} 0100 = 4 \\ 00000100 = 4 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1100 = -4 \\ 11111100 = -4 \end{array}$$

- Se la rappresentazione e' in complemento a 2, addizione e sottrazione si riducono alla sola addizione trascurando il bit MSB del risultato
- La rappresentazione e' limitata: dobbiamo fare attenzione agli overflow...

$$\begin{array}{r}
 +7 \quad 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ + \\
 -3 \quad 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ = \\
 \hline
 +4 \ (1) \ 0 \ 1 \ 0 \ 0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \quad \quad \quad 1 \ 1 \\
 +7 \quad 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ + \\
 +3 \quad 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ = \\
 \hline
 \quad \quad \quad (0) \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ \text{?????}
 \end{array}$$

- Sottrazione $\rightarrow a - b = a + (-b)$

$$6 - 2 = (6) + (-2)$$

$$-4 - 2 = (-4) + (-2)$$

$$-4 - 5 = (-4) + (-5)$$

$$\begin{array}{r}
 1 \ 1 \\
 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ + \quad (+6) \\
 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ = \quad (-2) \\
 \hline
 (1) \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \quad (+4)
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \quad \quad \quad 1 \\
 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ + \quad (-4) \\
 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ = \quad (-2) \\
 \hline
 (1) \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \quad (-6)
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ + \quad (-4) \\
 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ = \quad (-5) \\
 \hline
 (1) \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \quad (+7) \ \text{?????}
 \end{array}$$

Overflow compare quando il risultato dell'operazione non puo' essere rappresentato nel formato degli operandi (es 32 bits) ovvero quando il bit di segno non e' coerente con quello aspettato dal tipo di operazione e dal segno degli operandi

- No overflow quando si addizionano un numero positivo ed uno negativo...
- No overflow quando in una sottrazione i segni degli operandi sono uguali

Operazione	Operando A	Operando B	Sign Result per Ovf
$A + B$	≥ 0	≥ 0	< 0
$A + B$	< 0	< 0	≥ 0
$A - B$	≥ 0	< 0	< 0
$A - B$	< 0	≥ 0	≥ 0

Algebra Booleana e porte logiche

La funzione logica di un circuito combinatorio e' completamente descritta e specificata da una *Equazione Logica*

- Le variabili (i segnali...) in input e output sono *variabili logiche*.
- la funzione e' la combinazione dei 3 *operatori fondamentali* dell'algebra booleana
 - **OR** ($A + B$) out = 1 se *almeno un input* = 1
 - **AND** ($A * B$) out = 1 se *tutti gli input* = 1
 - **NOT** (\bar{A}) out = inverso dell'input

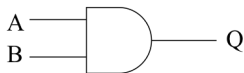
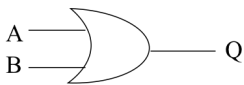
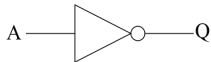


Table: Operatore NOT

A	Q
0	1
1	0

Table: Operatore OR

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Table: Operatore AND

A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Proprietà degli operatori:

Identità':	$A + 0 = A$	$A * 1 = A$
Nullò:	$A + 1 = 1$	$A * 0 = 0$
Idempotente:	$A + A = A$	$A * A = A$
Inverso:	$A + \bar{A} = 1$	$A * \bar{A} = 0$

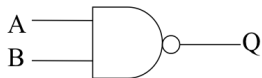
Proprietà dell'algebra:

Commutativa:	$A + B = B + A$	$A * B = B * A$
Associativa:	$A + (B + C) = (A + B) + C$	$A * (B * C) = (A * B) * C$
Distributiva:	$A * (B + C) = (A * B) + (A * C)$	$A + (B * C) = (A + B) * (A + C)$

Leggi di De Morgan:

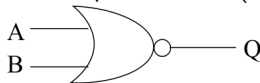
$$\overline{(A + B)} = \bar{A} * \bar{B} \quad \overline{(A * B)} = \bar{A} + \bar{B}$$

NAND: e' l'operatore NOT(AND)



A	B	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

NOR: e' l'operatore NOT(OR)



A	B	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

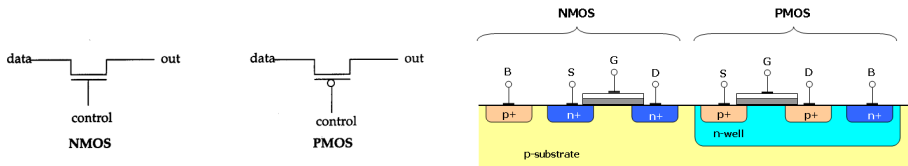
Si puo' dimostrare che il NAND(NOR) e' un'operatore universale i.e e' l'unico necessario per implementare qualsiasi funzione logica

$$\overline{A} = \overline{A} + 0 = \overline{A * 1}$$

$$A + B = \overline{\overline{A + B}} = \overline{\overline{A * 1} * \overline{B * 1}}$$

$$A * B = (A * B) + 0 = \overline{\overline{(A * B) + 0}} = \overline{\overline{A * B} * 1}$$

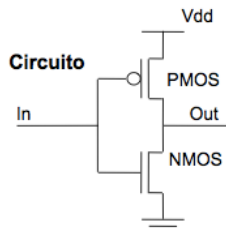
- Tecnologia *CMOS* (Complementary Metal Oxide Semiconductor) viene usata per realizzare transistor planari su silicio
- I principali vantaggi rispetto ad implementazione BJT sono la maggiore semplicità della tecnologia planare usata (che permette densità maggiori) e la potenza statica dissipata quasi nulla.



- Il comportamento è quello di un interruttore comandato dal gate Control
 - *NMOS* (N-Type Metal Oxide Semiconductor) transistor conduce se $C = 1$. Resistenza infinita se $C = 0$
 - *PMOS* (P-Type Metal Oxide Semiconductor) transistor conduce se $C = 0$. Resistenza infinita se $C = 1$

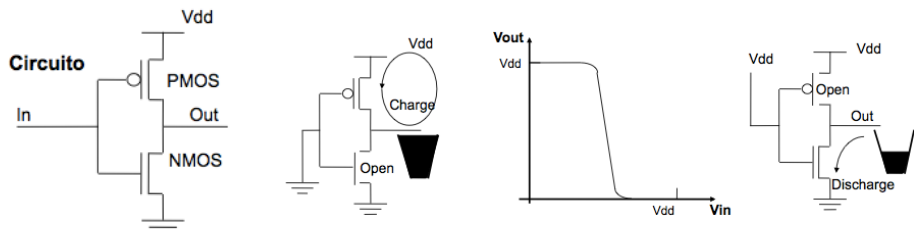
- In tecnologia CMOS un PMOS e' sempre accoppiato ad un NMOS.
- Si escludono quindi path *statici* tra VDD e GND \rightarrow potenza dissipata statica (quasi) nulla...
- Solo in presenza del cambiamento di stato del gate si apre un canale VDD-GND \rightarrow potenza dissipata dinamica bassa

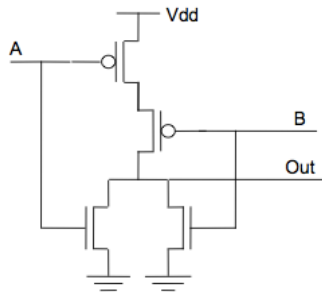
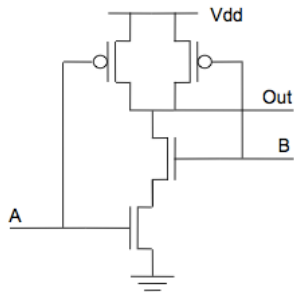
Es: Inverter

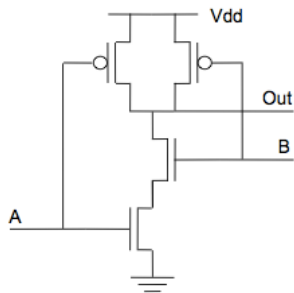


- In tecnologia CMOS un PMOS e' sempre accoppiato ad un NMOS.
- Si escludono quindi path *statici* tra VDD e GND \rightarrow potenza dissipata statica (quasi) nulla...
- Solo in presenza del cambiamento di stato del gate si apre un canale VDD-GND \rightarrow potenza dissipata dinamica bassa

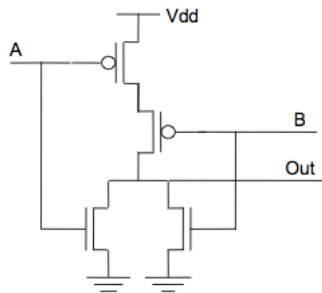
Es: Inverter



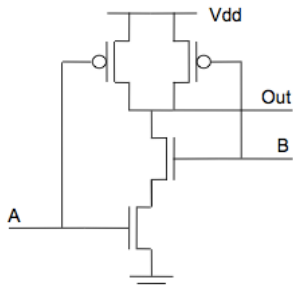




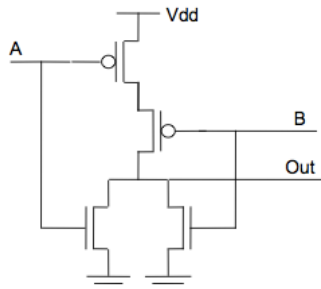
NAND



NOR



NAND



NOR

- Se in una particolare tecnologia il transistor PMOS e' piu' veloce
 - Meglio avere PMOS in serie
 - Porte NOR preferite per implementazione circuiti
- Se invece una particolare il transistor NMOS e' piu' veloce
 - Meglio avere NMOS in serie
 - Porte NAND preferite per implementazione circuiti

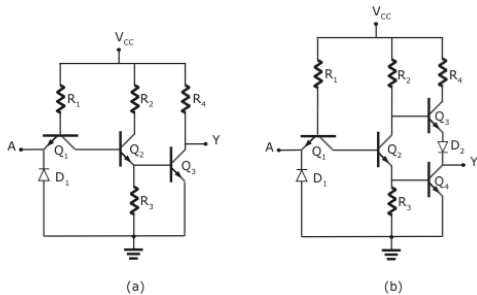


Figura 7.5: (a) Circuito NOT; (b) circuito NOT con uscita "totem pole".

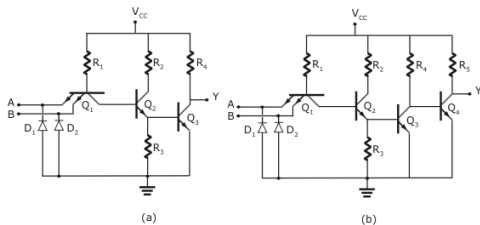
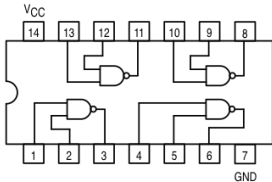


Figura 7.6: (a) Circuito NAND; (b) Circuito AND



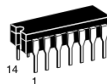
QUAD 2-INPUT NAND GATE

- ESD > 3500 Volts



SN54/74LS00

**QUAD 2-INPUT NAND GATE
LOW POWER SCHOTTKY**



**J SUFFIX
CERAMIC
CASE 632-08**

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current – High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current – Low	54			4.0	mA
		74			8.0	

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		Limits			Unit	Test Conditions	
			Min	Typ	Max			
V _{IH}	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V _{IL}	Input LOW Voltage	54			0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74			0.8			
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage			-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA	
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5		V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table	
		74	2.7	3.5		V		
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	V	I _{OL} = 4.0 mA	V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	V	I _{OL} = 8.0 mA	
I _{IH}	Input HIGH Current				20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V	
					0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V	
I _{IL}	Input LOW Current				-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V	
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)		-20		-100	mA	V _{CC} = MAX	
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH				1.6	mA	V _{CC} = MAX	
	Total, Output LOW				4.4			

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

- Ogni equazione logica puo' essere rappresentata in *forma canonica* tramite uso di operatori AND, OR, e NOT
- La forma canonica si deriva (ad es..) dalla tabella della verita' in forma di *Somma di Prodotti* (SP)

A	B	C	E
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

- Per ogni entry uguale ad 1 dell'output si genera un prodotto *minterm* degli input dove gli input=0 sono negati
- Per ottenere l'equazione in forma S, si sommano i prodotti cosi' ottenuti

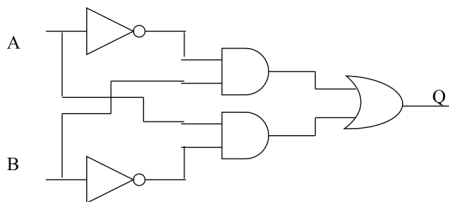
$$E = (\bar{A} * \bar{B} * C) + (A * B * \bar{C})$$

- Grazie alla proprieta' di *identita'* della somma logica ($A + 0 = A$) il contributo all'equazione logica viene solo dai minterm non 0

- A partire da un'equazione logica espressa come SP si può realizzare il circuito equivalente con variabili (segnali) invertite e non invertite che attraversano:
 - un livello di porte AND per i prodotti
 - un livello di porte OR per la somma dei prodotti

A	B	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$$Q = (\bar{A} * B) + (A * \bar{B})$$



- Obiettivo della minimizzazione e' la riduzione del *costo* del circuito combinatorio in termini di numero di porte e variabili necessarie all'implementazione dell'equazione richiesta
- Si ottiene un circuito equivalente che generalmente e' piu' *piccolo* e con tempi di propagazione ridotti.
- Si puo' agire per ispezione utilizzando le proprieta' dell'algebra.

Esempio:

$$Q = \bar{A} * B + A * B \rightarrow \text{applico proprieta' distributiva}$$

$$Q = B * (\bar{A} + A) \rightarrow \text{applico inverso}$$

$$Q = B * 1 = B$$

- in questo caso la variabile *A* e' *DON'T CARE* cioe' non conta ai fini della definizione della equazione
- L'individuazione di variabili *DON'T CARE* e' l'obiettivo ultimo della minimizzazione

- Esempio: multiplexer a due input. Seleziona in uscita il valore di un ingresso scelto tra $2(N)$ diversi in base ai valori assunti dagli ingressi di *select* (S)

S	A	B	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

- Scrivo la funzione in termini di somme di prodotti

$$Z = \bar{S}\bar{A}\bar{B} + \bar{S}AB + S\bar{A}B + SAB \rightarrow \text{distributiva}$$

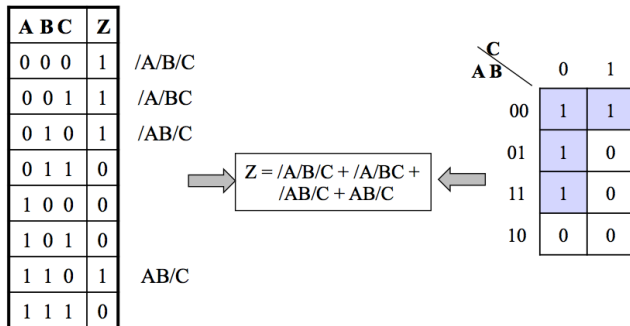
$$Z = \bar{S}A(\bar{B} + B) + SB(\bar{A} + A) \rightarrow \text{inverso}$$

$$Z = \bar{S}A + SB$$

- 3 gate NOT, 8 gate AND e 3 gate OR \rightarrow 1 NOT, 2 AND, 1 OR !!!!!

Mappe di Karnaugh (MK)

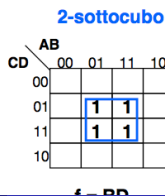
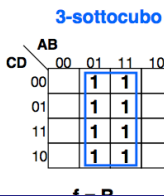
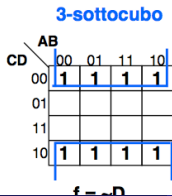
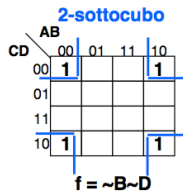
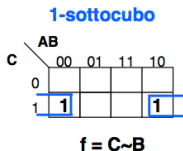
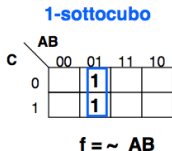
- Metodo grafico utile per minimizzare funzioni booleane di poche (2-6) variabili.
- Sfrutta caratteristiche posizionali delle *Mappe di Karnaugh* che sono rappresentazioni simili ed alternative alla tavola della verita'



- La combinazione degli input per ogni riga(colonna) deve differire da quelle delle righe(colonne) adiacenti per l'inversione di una sola variabile
- Quindi, ogni casella differisce dalle adiacenti per l'inversione di una sola variabile
- Allora, *due caselle adiacenti generano una variabile DON'T CARE...*

Mappe di Karnaugh (MK)

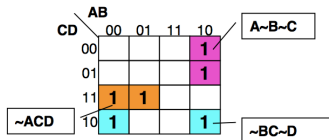
- Scopo del metodo e' quello di individuare facilmente insieme di righe della tabella della verita' che contengono variabili DON'T CARE.
- gli 1 corrispondenti a queste righe risultano adiacenti nella mappa corrispondente. Il loro insieme si definisce come *loop* o *p-sottocubo* dove *p* e' il rank del loop.
- Le mappe sono periodiche al contorno i.e. bordi orizzontali e verticali possono essere considerati adiacenti...



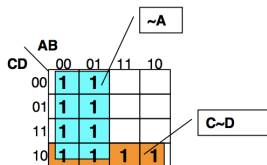
Mappe di Karnaugh (MK)

E' intuitivo che piu' grandi sono i loop piu' efficace la minimizzazione

- Per le proprieta' dell'algebra gli stessi 1 possono essere inclusi in piu' loops

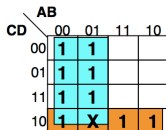


$$f = \sim ACD + A\sim B\sim C + \sim BC\sim D$$



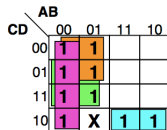
$$f = \sim A + C\sim D$$

- In caso di funzioni *incomplete* alcuni output, per particolari configurazioni degli input, non sono definiti/interessanti e quindi possono valere 0 o 1 a nostra scelta
- Sfrutto questo fatto per costruire una MK piu' efficace in termini di minimizzazione



Considerando X=1, solo 2 p-sottocubi:

$$f = \sim A + C\sim D$$



Considerando X=0, ben 4 p-sottocubi:

$$f = \sim A\sim B + \sim A\sim C + \sim AD + AC\sim D$$

Mappe di Karnaugh (MK)

- 1 Costruire la MK come visto
- 2 *Padding* delle condizioni DON'T CARE nel modo migliore
- 3 Ricercare nella mappa gli 1 "isolati" e crearne un gruppo per ognuno
- 4 Ricercare nella mappa gli 1 che sono adiacenti ad un solo altro 1 e crearne un loop-coppia.
- 5 Raggruppare gli eventuali ottetti anche se contengono 1 già' inclusi in altri gruppi
- 6 Raggruppare gli eventuali quad anche se contengono 1 già' inclusi in altri gruppi (facendo attenzione ad usare il numero minimo di gruppi)
- 7 Generare un gruppo-coppia per ogni 1 non incluso
- 8 Formare l'OR dei termini generati da ciascun gruppo

CD \ AB	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	0	1	1	0
11	0	1	1	0
10	0	0	1	0

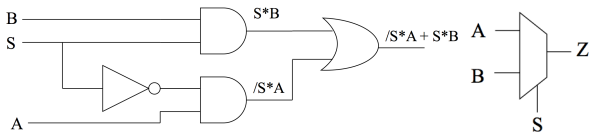
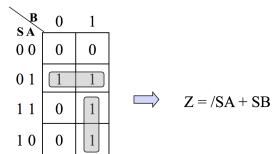
$$Z = A/BC/D + BD + ACD$$

CD \ AB	00	01	11	10
00	0	0	1	0
01	1	1	1	1
11	1	1	0	0
10	0	0	0	0

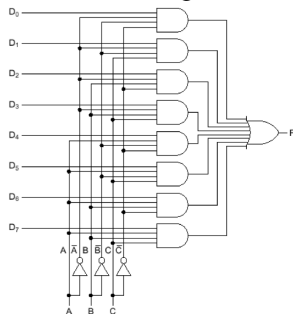
$$Z = A/CD + A/B + B/C$$

Esempi di circuiti combinatori: Multiplexer

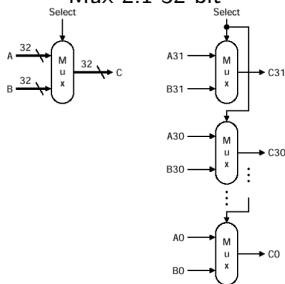
Multiplexer 2:1



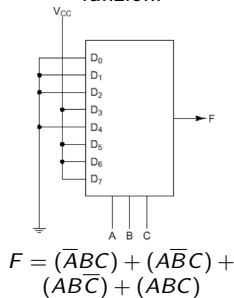
Mux 8:1 single bit



Mux 2:1 32 bit



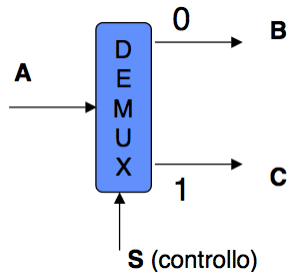
Mux 8:1 come gen funzioni



Esempi di circuiti combinatori: Demultiplexer

- Da 1 input a n output (scelti da select)
- $\log_2 n$ segnali di controllo

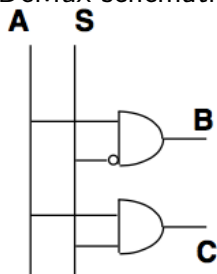
Simbolo del DeMux



A	S	B	C
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1

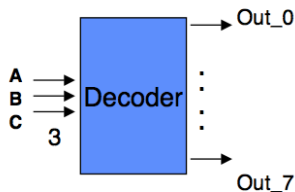
$$B = A\bar{S}, \quad C = AS$$

DeMux schematic

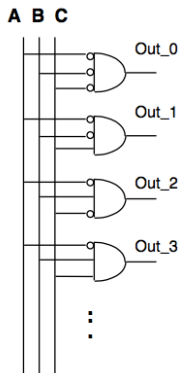


Esempi di circuiti combinatori: Decoder

- Componente con n inputs e 2^n outputs
- n input sono un numero unsigned
- Se $n = i$ allora solo i -esimo bit di output uguale a 1
- Lo abbiamo visto impiegato nel blocco di selezione della locazione in un Register File

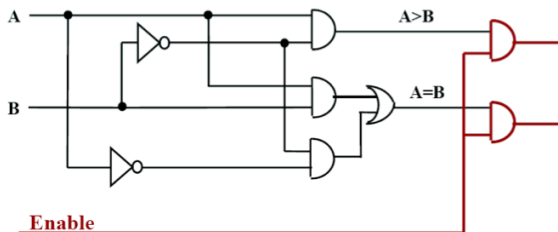


A	B	C	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1



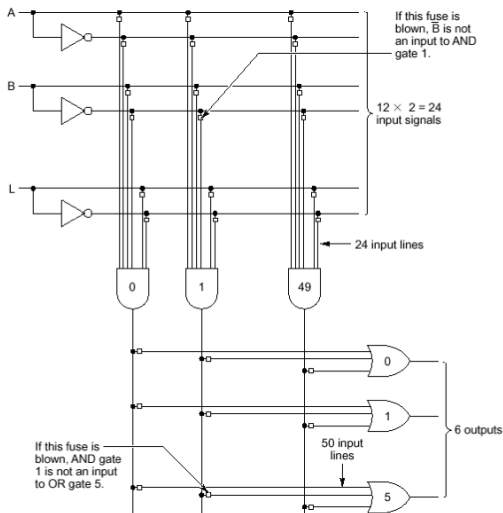
- Confronto di 2 *numeri* interi positivi
- In uscita $A = B$, $A > B$
- La condizione $A < B$?

A	B	$A > B$	$A = B$
0	0	0	1
0	1	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1



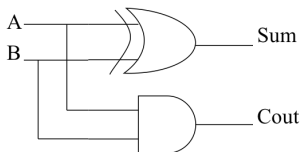
Programming Logic Array: componente utilizzato per generare funzioni qualsiasi in termini di somma di prodotti

- E' una struttura con n input, o output, m minterm esprimibili
- Strutture elettriche *fusibili* realizzano le connessioni i.e. i minterm
- La programmazione consiste nel decidere quali *fusibili* bruciare i.e. quali sono gli input ad ogni porta AND e quali quelli ad ogni port OR



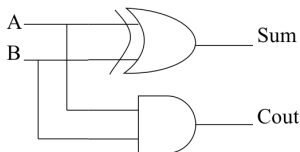
- Half-Adder circuito di addizione su numeri binari unsigned ad 1 bit (non completo....)

A	B	Sum	Cout
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

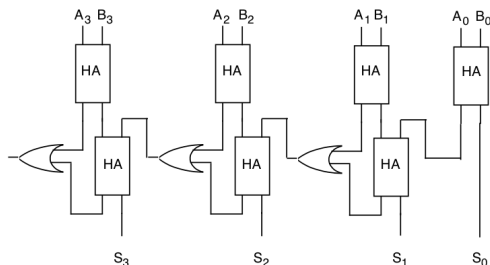


- Half-Adder circuito di addizione su numeri binari unsigned ad 1 bit (non completo....)

A	B	Sum	Cout
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

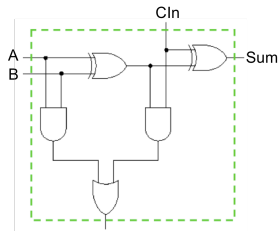


- Messi opportunamente in cascata realizzano addizionatori interi per parole a n bit implementando esattamente il metodo elementare *paper&pencil*



- Il *full-adder* o *sommatore completo* è un circuito elettronico che esegue addizioni su numeri binari unsigned ad 1 bit

A	B	C_i	S	C_o
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1



SUM

C_{In}	0	1
AB		
00	0	1
01	1	0
11	0	1
10	1	0

$$S = (\overline{A}BC_i) + (\overline{A}B\overline{C}_i) + (ABC_i) + (ABC_i)$$

COut

C_{In}	0	1
AB		
00	0	0
01	0	1
11	1	1
10	0	1

$$C_o = BC_i + AB + AC_i$$