

# Corso di Calcolatori Elettronici I

---

## Minimizzazione di funzioni booleane: problema di copertura

**Prof. Roberto Canonico**



Università degli Studi di Napoli Federico II  
Dipartimento di Ingegneria Elettrica  
e delle Tecnologie dell'Informazione

---

# Minimizzazione di funzioni booleane

---

Ci riferiamo al problema di determinare un'espressione algebrica del tipo somma-di-prodotti (forma elementare di tipo P) che rappresenti una data funzione booleana  $f$  e minimizzi i costi di porte.

Il procedimento per la soluzione del problema si articola in due fasi:

- 1) Espansione:** consiste nella ricerca di tutti gli implicant primari
    - sulle mappe di Karnaugh gli implicant primari sono i sottocubi di area massima
  - 2) Copertura:** consiste nel determinare il sottoinsieme minimo di implicant primari della funzione in grado di coprire tutti i suoi mintermini
    - questo problema può essere risolto «ad occhio» sulle mappe di Karnaugh
    - oppure può essere risolto con l'ausilio di una matrice di copertura
    - fra gli implicant primari è possibile estrarre un set di **implicant primari essenziali**, necessari alla copertura poiché sono gli unici a coprire qualche "uno" della funzione; la copertura ottima conterrà dunque tali implicant essenziali più un sottoinsieme degli implicant primari rimanenti, scelti secondo un criterio di costo
-

# Il metodo delle Mappe di Karnaugh - fase di espansione

---

I mintermini semplificabili sono rappresentati da celle adiacenti sulle mappe: l'operazione di **espansione** viene effettuata a partire da ogni mintermine in tutte le direzioni per raggrupparne un numero equivalente a una potenza di 2. Ciascun mintermine può appartenere a più raggruppamenti.

	<i>yz</i>	00	01	11	10
<i>x</i>	0	0	0	0	1
	1	0	0	1	1

(a)

	<i>yz</i>	00	01	11	10
<i>x</i>	0	0	0	0	1
	1	0	0	1	1

(b)

Mappa di Karnaugh della funzione  $f(x, y, z) = xyz + xyz' + x'yz'$

---

# Il metodo delle Mappe di Karnaugh- Esempio 1

---

$x \backslash yz$	00	01	11	10
0	1	1	0	0
1	0	1	1	0

Considerando tutti gli implicant primari individuati si ottiene l'espressione:

$$f(x,y,z) = x'y' + y'z + xz$$

che non risulta minima

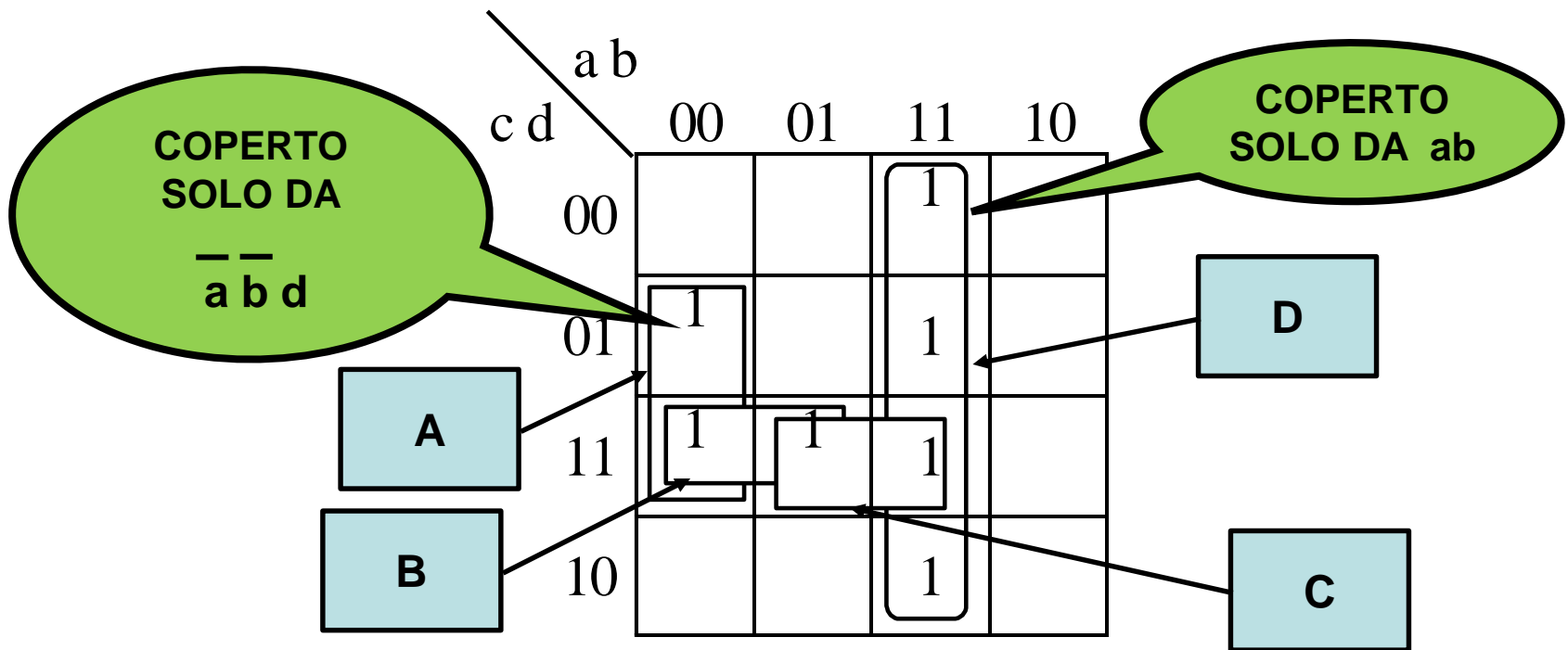
Esaminando la mappa si nota che gli implicant  $x'y'$  e  $xz$  sono sufficienti a coprire tutti gli 1 della funzione, mentre l'implicante  $y'z$  può essere trascurato. In definitiva quindi:

$$f(x,y,z) = x'y' + xz$$

---

# Il metodo delle Mappe di Karnaugh- Esempio 2

- Sono essenziali gli implicant primari che **da soli** ricoprono un "1"
- Nell'esempio in figura sono essenziali  $(a'b'd)$  ed  $(ab)$
- La somma di questi due PI essenziali non è sufficiente per rappresentare la funzione: occorre aggiungere un altro PI a scelta tra  $(a'cd)$  e  $(bcd)$



# Matrice di copertura

- La matrice di copertura è una matrice  $A_{ij}$  che ha:
  - sulle colonne i mintermini  $P_j$  che compaiono nella forma normale di tipo P
  - sulle righe gli implicanti primi  $PI_i$  (determinati con la procedura di espansione)
- L'elemento  $A_{ij}$  vale 1 s.s.e.  $P_j \rightarrow PI_i$ , 0 altrimenti
- Si dice che la riga  $i$ -esima copre la colonna  $j$ -esima se  $A_{ij} = 1$
- Risolvere il problema di copertura rappresentato dalla matrice  $A_{ij}$  significa selezionare il minor numero di righe che coprano tutte le colonne della matrice

	abcd	0001	0011	1100	0111	1101	1110	1111
A	00-1	1	1					
B	0-11		1		1			
C	-111				1			1
D	11--			1		1	1	1

# Copertura minima


---

- Un modo generale per definire il problema della copertura è il seguente:
    - data una matrice di  $N$  righe e  $M$  colonne, i cui elementi siano  $a_{ij} = 1$  oppure  $a_{ij} = 0$ , si dice che una riga  $i$  *copre* una colonna  $j$  se  $a_{ij} = 1$
    - Si selezioni il numero minimo di righe che coprono tutte le colonne
  - Il problema della copertura è di interesse generale in molti settori differenti
    - ad esempio, in problemi di testing
-

# Individuazione del nucleo sulla matrice di copertura

---

- Sulla matrice di copertura sono essenziali i PI che corrispondono alle righe che coprono le colonne con un unico '1'
- Nell'esempio  $N = A + D$



	<u>abc</u> <u>d</u>	0001	0011	1100	0111	1101	1110	1111
A	00-1	1	1					
B	0-11		1		1			
C	-111				1			1
D	11--			1		1	1	1

**ESSENZIALE**

**ESSENZIALE**

---



# Metodi di copertura minima

---

- Trovare la copertura minima vuol dire trovare la forma minima di  $R$ , cioè quegli implicant che, pur non essendo essenziali, devono essere eventualmente aggiunti al nucleo per trovare una forma che "copra" tutti i mintermini
  - Per funzioni di poche variabili, la scelta dei PI di  $R$  da aggiungere a quelli essenziali di  $N$  può essere fatta direttamente sulla mappe di Karnaugh, valutando ad occhio le varie (poche) alternative possibili
  - Un metodo tabellare: righe/colonne dominanti
-

# Righe/Colonne dominanti

---

- Chiamiamo “*linea*” indifferentemente una riga o una colonna
- Una linea  $L$  domina la linea  $K$  se la “include”, ovvero se contiene tutti i suoi 1

La colonna di destra domina quella di sinistra

1	1	0	1	0
0	1	0	1	0

La riga in alto domina l'altra

---

# Righe/Colonne dominanti

---

- Se si eliminano le **righe dominate** e le colonne **dominanti**, da una matrice di copertura, se ne trae una equivalente
  - che rappresenta, cioè, il medesimo problema di copertura

# Matrice di copertura: criteri di dominanza

---

- ❑ La **riga  $i$  domina la riga  $j$**  se l'implicante  $P_i$  copre tutti i mintermini che copre l'implicante  $P_j$  più almeno uno
    - ✓ i mintermini coperti dall'implicante dominato sono un sottoinsieme dei mintermini coperti dall'implicante dominante: scegliendo di eliminare l'implicante dominato e mantenere il dominante avremmo la certezza di coprire un insieme maggiore di mintermini, con un costo totale di copertura di sicuro non maggiore di quello che si avrebbe facendo la scelta opposta
  - ❑ La **colonna  $i$  domina la colonna  $j$**  se il mintermine  $m_j$  è coperto da un sottoinsieme degli implicanti che coprono  $m_i$ 
    - ✓ qualsiasi implicante copra  $m_j$  copre anche  $m_i$ : scegliendo di eliminare il mintermine  $m_i$  e mantenere  $m_j$  avremmo la certezza che gli implicanti selezionati per coprire quest'ultimo coprono anche il primo, con un costo totale di copertura non maggiore di quello che si avrebbe facendo la scelta opposta
-

# Metodo per la determinazione della copertura minima

---

- Il metodo tabellare per righe/colonne dominanti si sviluppa nei seguenti passi:
    1. Si ricercano gli implicanti primi ( $PI$ ) e si individuano quelli essenziali;
    2. Si includono nella forma minima i  $PI$  essenziali, eliminandoli dalla matrice, unitamente con i mintermini ricoperti;
    3. Si eliminano le righe dominate e le colonne dominanti;
    4. Si individuano i  $PI$  essenziali “secondari” della matrice così ridotta;
    5. Si ripetono i passi 2, 3, 4 finché è possibile.
-

# Esempio (1/6)

---

---

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = \sum (0, 1, 2, 8, 9, 15, 17, 21, 24, 25, 27, 28, 31) =$$
$$= \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5} + \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5} + \overline{x_1 x_2 x_3 x_4} \overline{x_5} + \dots$$

---

---

# Esempio (2/6)

---

---

Implicanti	Mintermini coperti
A = -100-	8, 9, 24, 25
B = --001	1, 9, 17, 25
C = 0-00-	0, 1, 8, 9
D = 11-11	27, 31
E = -1111	15, 31
F = 110-1	25, 27
G = 10-01	17, 21
H = 11-00	24, 28
J = 000-0	0, 2

---

---

# Esempio (3/6)

---

	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>27</sub>	P <sub>28</sub>	P <sub>31</sub>
A				1	1				1	1			
B		1			1		1			1			
C	1	1		1	1								
D											1		1
E						1							1
F										1	1		
G							1	1					
H									1			1	
J	1		1										

**Primi implicantii essenziali: N (nucleo) = J, E, G, H**

---



# Esempio (4/6)

	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>15</sub>	P <sub>17</sub>	P <sub>21</sub>	P <sub>24</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>27</sub>	P <sub>28</sub>	P <sub>31</sub>
A				1	1				1	1			
B		1			1		1			1			
C	1	1		1	1								
D											1		1
E						1							1
F										1	1		
G							1	1					
H									1			1	
J	1		1										

**Gli implicanti primi essenziali J,E,G,H  
coprono i mintermini: 0, 2, 15, 17, 21, 24, 28, 31**

# Esempio (5/6)

	P <sub>1</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>27</sub>
A		1	1	1	
B	1		1	1	
C	1	1	1		
D					1
F				1	1

	P <sub>1</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>25</sub>	P <sub>27</sub>
A		1	1	
B	1		1	
C	1	1		
F			1	1

	P <sub>1</sub>	P <sub>8</sub>
A		1
B	1	
C	1	1

↑  
riga D dominata dalla F  
Colonna P<sub>9</sub> dominante

**F** implicante primo essenziale secondario:  
copre P<sub>25</sub> e P<sub>27</sub>

Righe A e B dominate dalla **C**

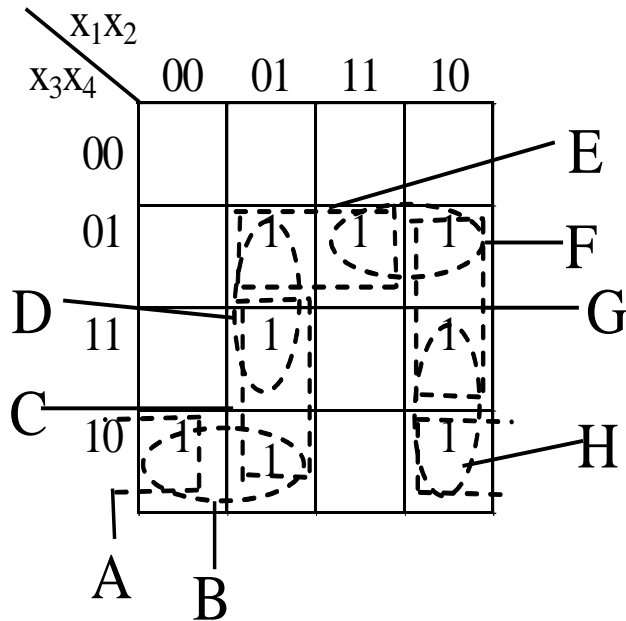
# Esempio (6/6)

---

$$\begin{aligned}
 f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= \sum (0, 1, 2, 8, 9, 15, 17, 21, 24, 25, 27, 28, 31) = \\
 &= \overline{x_1 x_2 x_3 x_4 x_5} + \overline{x_1 x_2 x_3 x_4} x_5 + \overline{x_1 x_2 x_3} x_4 x_5 + \dots = \\
 &= E + G + H + J + F + C = \\
 &= x_2 x_3 x_4 x_5 + \overline{x_1} x_2 x_4 x_5 + \overline{x_1} x_2 x_4 x_5 + \overline{x_1} x_2 x_3 x_5 \\
 &+ \overline{x_1} x_2 x_3 x_5 + \overline{x_1} x_3 x_4
 \end{aligned}$$


---

# Un altro esempio: funzione ciclica



	$P_3$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	$P_{10}$	$P_{13}$	$P_{14}$
A				1		1		
B				1	1			
C					1		1	
D	1						1	
E	1		1					
F		1	1					
G		1						1
H						1		1

- Il metodo delle righe e colonne dominanti non aiuta
- Si sceglie a caso un PI e gli altri vengono scelti di conseguenza
- Due coperture equivalenti:  $A+C+E+G$  oppure  $B+D+F+H$

# Matrice di copertura: ESEMPIO (1/2)

---

	m1	m4	m5	m6	m7	m9	m11	m14	m15
A	x		x						
B	x					x			
C						x	x		
D							x		x
E		x	x	x	x				
F				x	x			x	x

Il mintermine m4 risulta coperto solo da E e il mintermine m14 solo da F:

**E ed F pertanto sono implicanti essenziali** e possono essere cancellati dalla tabella insieme a tutti i mintermini che coprono.

**$C(F) = \{E, F\}$**

---

# Matrice di copertura: ESEMPIO (2/2)

---

	m1	m9	m11
<del>A</del>	<del>x</del>		
B	x	x	
C		x	x
<del>D</del>			<del>x</del>

Nella tabella risultante ogni mintermine è coperto almeno da due implicant: non ci sono più implicant essenziali e si può procedere col metodo della dominanza:

La riga C domina la riga D e la B domina la A: cancello le righe A e D.

A questo punto B e C coprono mintermini non coperti da altri implicant: essi sono allora etichettati come **implicant essenziali secondari** e aggiunti alla **copertura minima di f**:

$$C(F) = \{E, F, B, C\}$$



	m1	m9	m11
B	<b>x</b>	x	
C		x	<b>x</b>

