

---

# I Bistabili

Maurizio Palesi

## Sistemi digitali

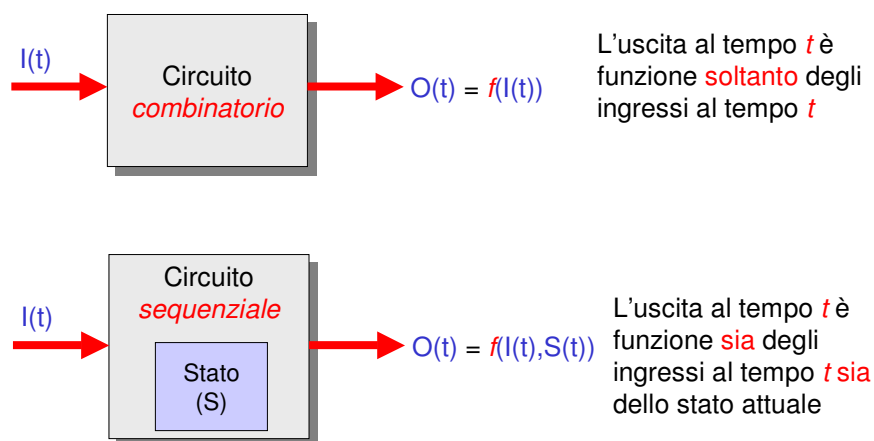
---

- Si possono distinguere due classi di sistemi digitali
  - Sistemi *combinatori*
    - ✓ Il valore delle uscite al generico istante  $t^*$  dipende solo dal valore degli ingressi applicati nello stesso istante
  - Sistemi *sequenziali*
    - ✓ Il valore delle uscite all'istante  $t^*$  dipende non solo dal valore attuale degli ingressi ma anche dalla *sequenza* di configurazioni d'ingresso precedenti

## Sistemi Sequenziali - Generalità

- Il comportamento del sistema dipende dalla sua *storia* precedente
- Sequenziale fa riferimento alla sequenza di eventi che hanno portato il sistema nella sua condizione attuale
- La memoria che il sistema conserva degli eventi passati costituisce lo *stato* del sistema

## Sistemi Sequenziali - Generalità



## Bistabili - Introduzione

---

- Sono elementi di memoria in grado di memorizzare l'informazione binaria relativamente a un singolo evento
  - Possono cioè ricordare se all'istante ( $t-1$ ) il rispettivo ingresso era 0 oppure 1
  - Sono quindi elementi sequenziali capaci di mantenersi stabilmente fra due stati (**bistabili**)

## Bistabili - Classificazione

---

- Le **differenze principali** tra i diversi bistabili dipendono:
  - Dal **numero di ingressi**
  - Dal modo in cui tali ingressi ne **determinano lo stato**
- In generale possono essere classificati
  - Asincroni
  - Sincroni

## Bistabili - Classificazione

### ■ Asincroni

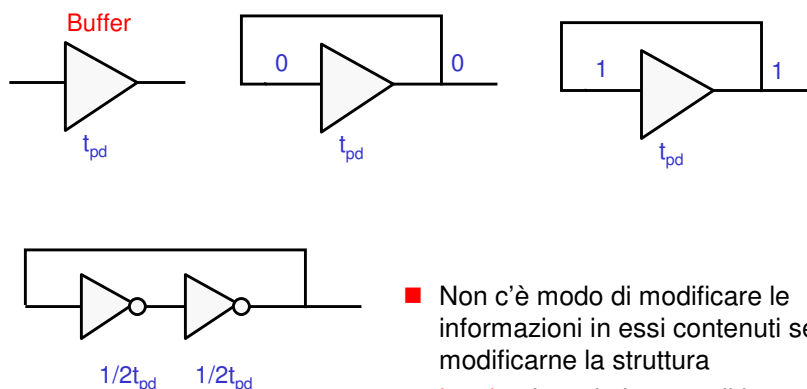
→ E' la variazione di un segnale presente a uno degli ingressi dati che può determinare l'evoluzione del bistabile imponendone il cambiamento di stato

✓ Hanno solo ingressi dati

### ■ Sincroni

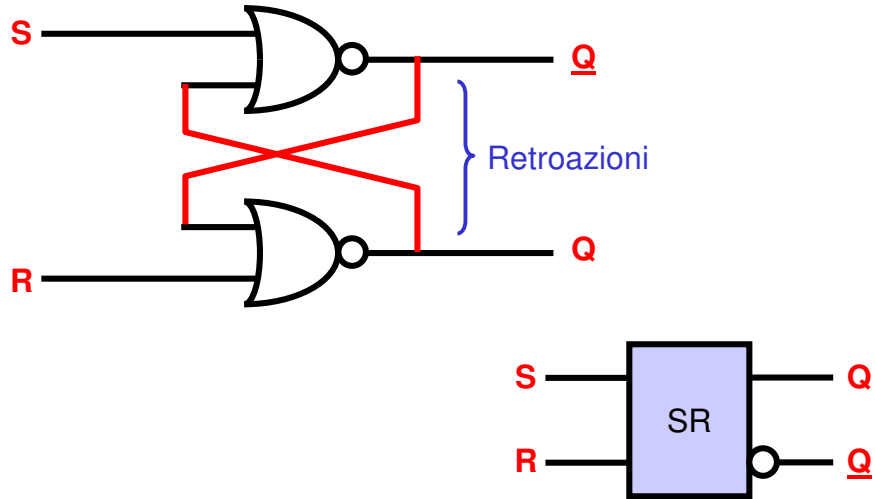
→ Le variazioni degli ingressi dati vengono campionate dal segnale presente sull'ingresso di sincronismo, e solo quando tale segnale assume un particolare valore il bistabile può evolvere

## Generalità



- Non c'è modo di modificare le informazioni in essi contenuti senza modificarne la struttura
- Latch: si sostituiscono gli invertitori con porte NOR o NAND

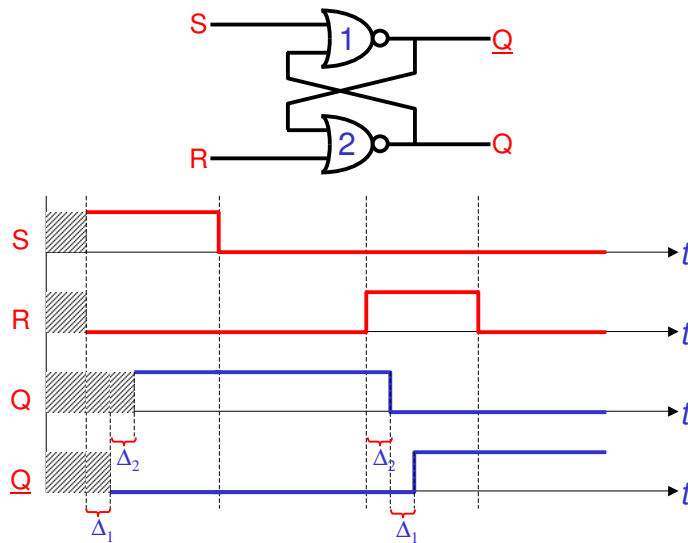
## Bistabili Asincroni Latch Set-Reset (SR)



Maurizio Palesi

9

## Bistabili Asincroni Set-Reset (SR) - Funzionamento



Maurizio Palesi

10

## Bistabili Asincroni

### Set-Reset (SR) - Osservazioni

- $Q$  e  $\bar{Q}$  hanno sempre valori complementari
- L'effetto di un 1 su  $S$  (*set*) è di portare a 1 l'uscita  $Q$
- L'effetto di un 1 su  $R$  (*Reset*) è di portare a 0 l'uscita  $Q$
- La presenza di un 1 sia su  $S$  che su  $R$  provoca un comportamento che non rispetta più quanto osservato
  - Le due uscite tendono ad assumere lo stesso valore
  - La commutazione delle uscite diventa imprevedibile
    - ✓ Dipende dalle relazioni tra i ritardi distribuiti lungo i vari percorsi
  - Si impone che la configurazione di ingresso non possa mai verificarsi

## Bistabili Asincroni

### Latch Set-Reset (SR) - Tabella delle transizioni

- La *Tabella delle Transizioni* consente di descrivere il comportamento di un bistabile
- Simbologia
  - Indicheremo con  $Q^*$  lo stato prossimo

		SR			
		00	01	11	10
Q	0	0	0	X	1
	1	1	0	X	1

## Bistabili Asincroni

### Latch Set-Reset (SR) - Equazione di funzionamento

- La configurazione  $SR=11$  la possiamo vedere come una **condizione di indifferenza** visto che è una configurazione che non dovrà mai presentarsi e per la quale quindi l'uscita non sarà mai presa in considerazione
- Possiamo quindi scrivere l'**equazione di funzionamento** del bistabile SR
  - Riduciamo la  $Q^*(S,R,Q)$  utilizzando le mappe di Karnaugh

		SR			
		00	01	11	10
Q*	0	0	0	1	1
	1	1	0	1	1

$$Q^*(S,R,Q) = S + \underline{R}Q$$

Maurizio Palesi

13

## Bistabili Asincroni

### Latch Set-Reset (SR) - Tabella delle Eccitazioni

- La **Tabella delle Eccitazioni** consente di conoscere la configurazione degli ingressi da applicare affinché possa avvenire una certa transizione di stato
- Può essere ricavata a partire dalla Tabella delle transizioni

Q	Q*	S	R
0	0	0	-
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	-	0

Tabella delle Eccitazioni

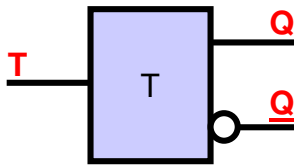
		SR			
		00	01	11	10
Q*	0	0	0	X	1
	1	1	0	X	1

Tabella delle Transizioni

Maurizio Palesi

14

## Bistabili Asincroni Triggered (T)



- Quando  $T=1$  lo stato del bistabile commuta
- Quando  $T=0$  lo stato rimane immutato

		T	
		0	1
Q*	0	0	1
	1	1	0

Tabella delle Transizioni

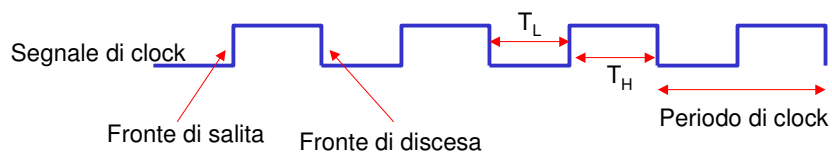
Q	Q*	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabella delle Eccitazioni

$$Q^*(T, Q) = TQ + Q\bar{T}$$

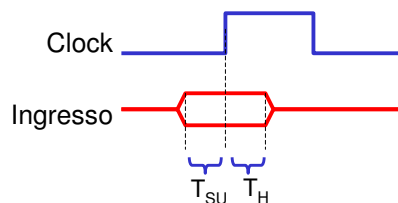
## Sincronia

- Un bistabile asincrono modifica il proprio stato solo in presenza di un evento sugli ingressi
- Il progetto delle reti può richiedere che il cambiamento avvenga **in istanti di tempo ben precisi**
- Questa esigenza impone la presenza di un **segnale di ingresso di controllo**
- Il segnale che prendiamo in considerazione è periodico, detto **segnale di clock**



## Tempi di *Hold* e di *Set-up*

- Affinché venga riconosciuto correttamente, un ingresso deve **rimanere stabile in una finestra temporale** nell'intorno di un fronte del clock
- Tempo di *Set-up* ( $T_{SU}$ )
  - Minimo intervallo di tempo che precede il fronte del clock durante il quale l'ingresso deve essere mantenuto stabile
- Tempo di *Hold* ( $T_H$ )
  - Minimo intervallo di tempo che segue il fronte del clock durante il quale l'ingresso deve essere mantenuto stabile



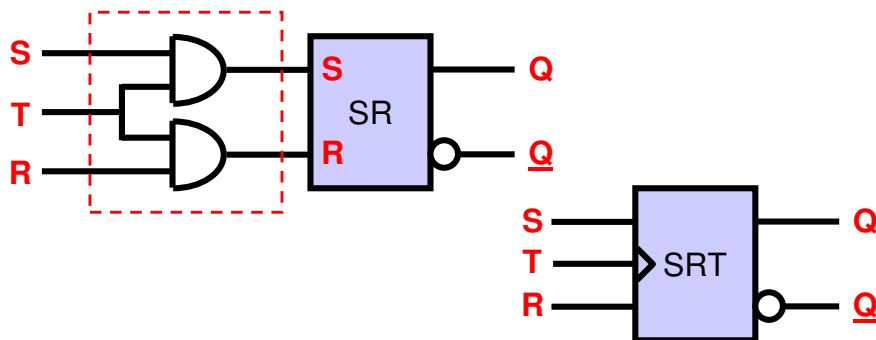
## Bistabili Sincroni

- Le variazioni degli ingressi dati vengono campionate dal segnale presente sull'**ingresso di sincronismo**, e solo quando tale segnale assume un particolare valore il bistabile può evolvere
- Latch Trasparente Sincrono
  - Quando il **segnale di sincronismo è attivo**, l'effetto di una variazione di un valore presente sugli ingressi dati si riflette immediatamente nel valore dello stato (e quindi dell'uscita) del latch

## Bistabili Sincroni

### Bistabile SRT

- Si ottiene dal latch SR aggiungendo la logica necessaria ad abilitarlo (**renderlo trasparente**) soltanto su attivazione di un segnale di sincronismo **T**



Maurizio Palesi

19

## Bistabili Sincroni

### Bistabile SRT - Funzionamento

- Quando il segnale di sincronismo è **attivo** (*intervallo di trasparenza*), il bistabile si comporta come l'SR
- Quando il segnale di sincronismo **non è attivo**, il bistabile mantiene immutato il proprio stato

Q*	SR			
	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	X	1
11	1	0	X	1
10	1	1	1	1

Tabella delle Transizioni

La tabella delle eccitazioni è identica a quella del latch SR se si considera il funzionamento negli intervalli di trasparenza

$$Q^*(S,R,Q,T) = Q\bar{T} + ST + \underline{R}Q = ST + Q(\underline{R} + \underline{T})$$

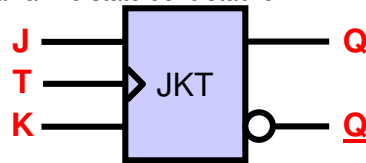
Maurizio Palesi

20

## Bistabili Sincroni

### Bistabile JKT - Funzionamento

- La condizione che ai due ingressi **S** ed **R** non siano mai contemporaneamente presenti due **1** può complicare il progetto della rete nella quale inserire il bistabile
- Il **bistabile JKT** risolve questa condizione
  - Quando il segnale di sincronismo **non è attivo**, il bistabile mantiene immutato il proprio stato
  - Quando il segnale di sincronismo **è attivo**
    - ✓ Se i due ingressi sono diversi o entrambi uguali a 0, si comporta come l'SR (in cui  $J \rightarrow S$ ,  $K \rightarrow R$ )
    - ✓ Se i due ingressi sono entrambi uguali a 1 lo stato del bistabile commuta



Maurizio Palesi

21

## Bistabili Sincroni

### Bistabile JKT - Tabelle ed Equazioni

Q*	JK			
	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	1	1
11	1	0	0	1
10	1	1	1	1

Tabella delle Transizioni

Q	Q*	J	K
0	0	0	-
0	1	1	-
1	0	-	1
1	1	-	0

Tabella delle Eccitazioni

$$Q^*(J,K,Q,T) = Q\bar{T} + JQT + \bar{K}Q = Q(\bar{T} + \underline{K}) + JQT$$

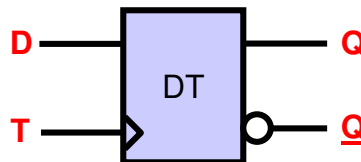
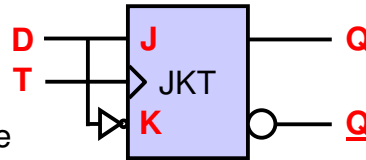
Maurizio Palesi

22

## Bistabili Sincroni

### Bistabile DT - Funzionamento

- Il **bistabile DT** (*D* sta per Data) è molto usato nella sintesi delle reti sequenziali
- Si ottiene dal JK
  - ponendo  $J \rightarrow D$  e  $K \rightarrow \bar{D}$
- Il funzionamento è molto semplice
  - Quando il segnale di sincronismo è **attivo**
    - ✓ All'uscita del bistabile si trasferisce il valore presente sull'ingresso *D*
  - Quando il segnale di sincronismo **non è attivo**
    - ✓ Il valore dell'uscita *Q* non cambia (mantiene lo stato)



Maurizio Palesi

23

## Bistabili Sincroni

### Bistabile DT - Tabelle ed Equazioni

		DT			
		00	01	11	10
Q*	0	0	0	1	0
	1	1	0	1	1

Tabella delle Transizioni

Q	Q*	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Tabella delle Eccitazioni

$$Q^*(D, T, Q) = DT + \bar{T}Q$$

Maurizio Palesi

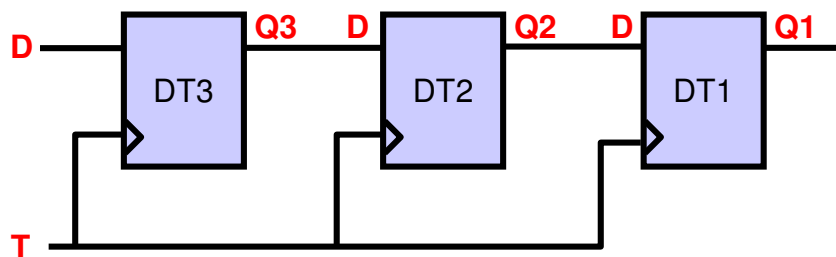
24

## Segnale di Reset

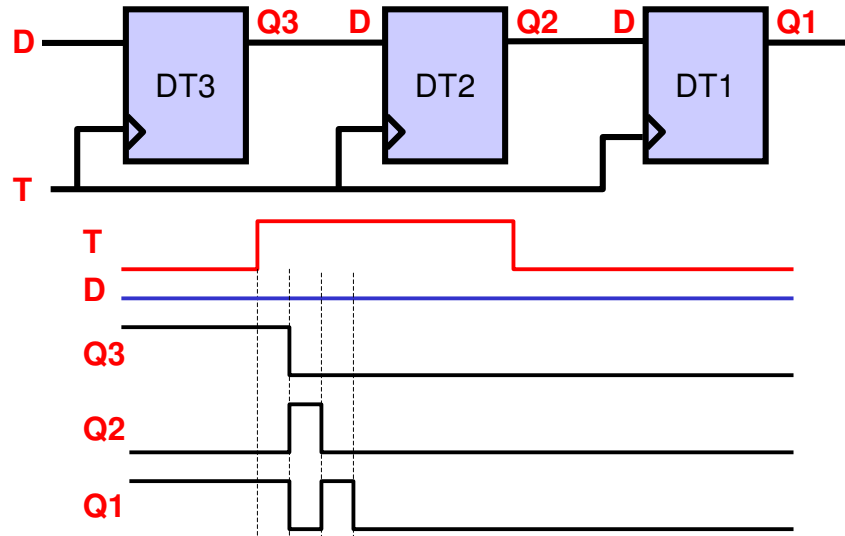
- In molti casi è necessario poter *forzare* il bistabile (sincrono o asincrono) in uno *stato predeterminato* indipendente dai valori di ingresso
- Ciò per garantire che nell'istante iniziale in cui si fornisce alimentazione al circuito, i bistabili in esso presenti si portino in uno *stato iniziale noto*
- Per questo i bistabili possono essere dotati di un *ingresso asincrono di reset*

## Bistabili Master-Slave

- Spesso per garantire il buon funzionamento di una rete sequenziale, i bistabili di tipo *latch trasparenti sincroni* non hanno un comportamento soddisfacente
- **Es.:** Registro a scorrimento basato su bistabili DT



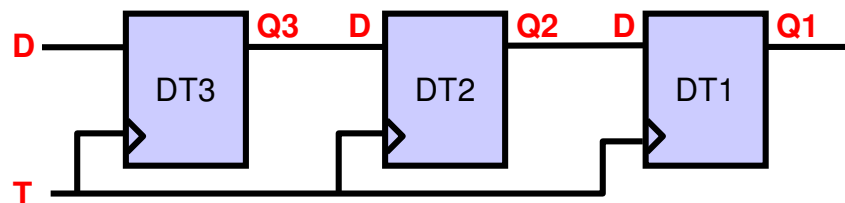
## Bistabili Master-Slave



Maurizio Palesi

27

## Bistabili Master-Slave



- Stato Iniziale 101 ( $Q_3Q_2Q_1$ )
- $T=1$  per un tempo  $\Delta$ ,  $D=0$
- Stato successivo: 000 ( $Q_3Q_2Q_1$ )

### ■ Conclusion

→ In dipendenza dai valori relativi dei ritardi interni del bistabile e del segnale di sincronismo, il comportamento non è quello corretto e può essere imprevedibile

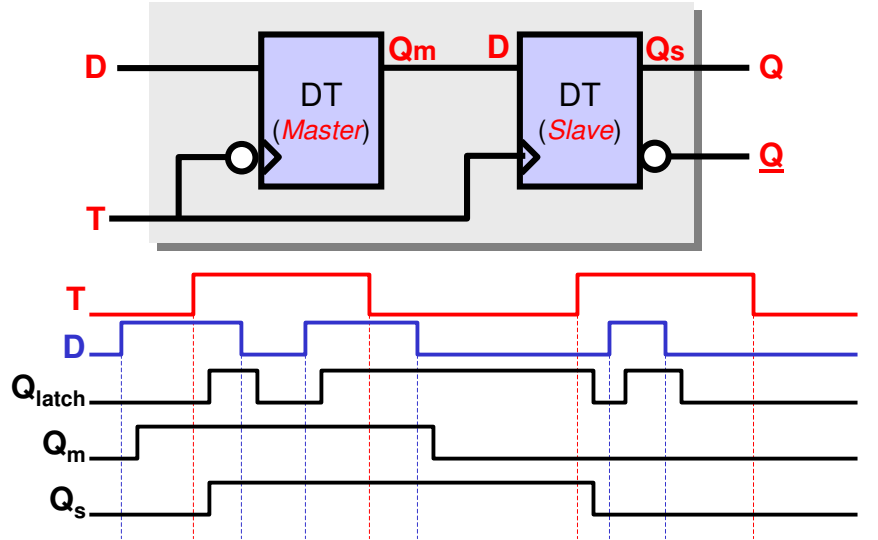
Maurizio Palesi

28

## Edge-Sensitive Flip-Flop

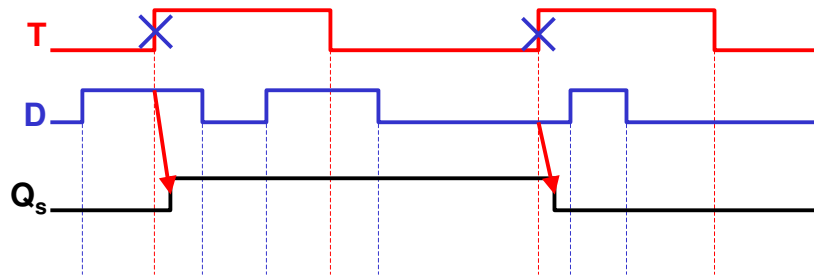
- Per ovviare ai problemi suddetti sono stati introdotti i bistabili con **memoria ausiliaria**
- Tali bistabili rispondono al **fronte** del segnale di sincronismo e non al livello
- Si parla di
  - Configurazioni Master-Slave
  - Edge-Sensitive
  - Edge-Triggered
  - Edge-Sensitive flip-flop

## Bistabile Master-Slave DT



## Bistabile Master-Slave DT

- Nella configurazione *Master-Slave* del bistabile *DT* l'ingresso si trasferisce all'uscita sul **fronte di salita** del segnale di sincronismo

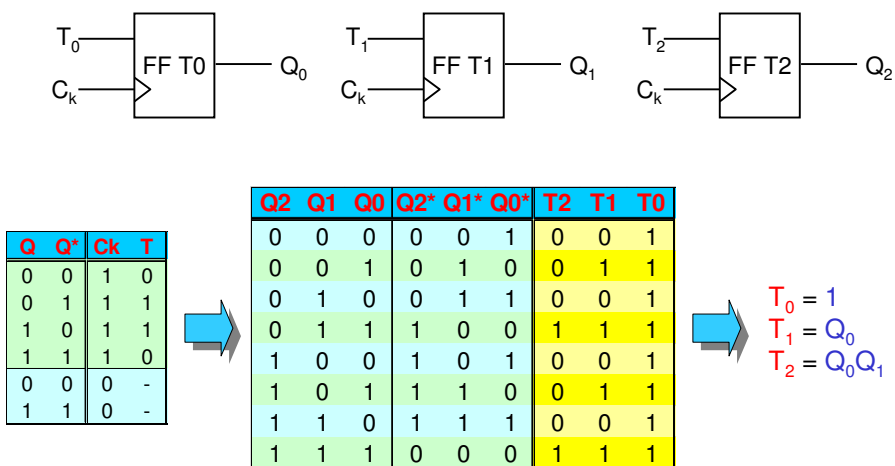


Maurizio Palesi

31

## Contatori Sincroni

Contatori Modulo 8 con FF T



Maurizio Palesi

32

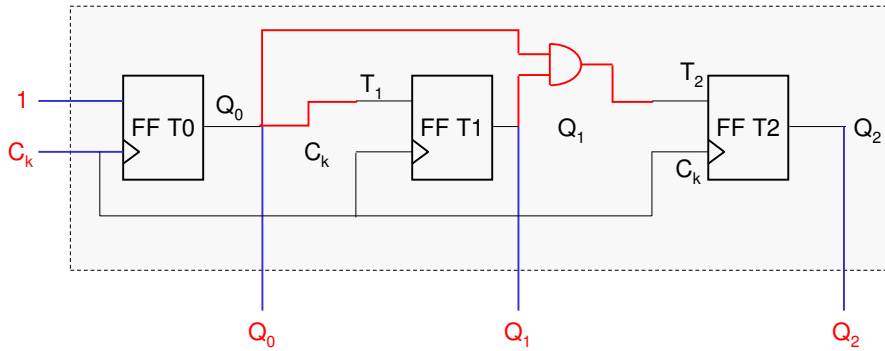
# Contatori Sincroni

## Contatori Modulo 8 con FF T

$$T_0 = 1$$

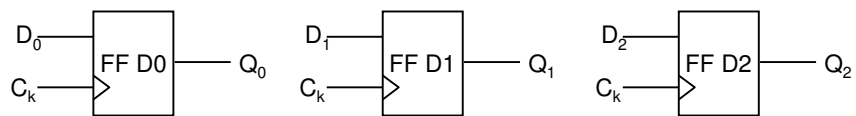
$$T_1 = Q_0$$

$$T_2 = Q_0 Q_1$$



# Contatori Sincroni

## Contatori Modulo 8 con FF D



Q	Q*	Ck	T
0	0	1	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	1	1
0	0	0	-
1	1	0	-



Q2	Q1	Q0	Q2*	Q1*	Q0*	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0

# Contatori Sincroni

## Contatori Modulo 8 con FF D

Q2	Q1	Q0	Q2*	Q1*	Q0*	D2	D1	D0
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0

**D0**

		Q <sub>0</sub> Q <sub>1</sub>			
		00	01	11	10
Q <sub>2</sub>	0	1	1		
	1	1	1		

$$D_0 = \underline{Q_0}$$

**D1**

		Q <sub>0</sub> Q <sub>1</sub>			
		00	01	11	10
Q <sub>2</sub>	0		1		1
	1		1		1

$$D_1 = \underline{Q_0}Q_1 + Q_0\underline{Q_1} = Q_0 \oplus Q_1$$

**D2**

		Q <sub>0</sub> Q <sub>1</sub>			
		00	01	11	10
Q <sub>2</sub>	0			1	
	1	1	1		1

$$D_2 = Q_0Q_1\underline{Q_2} + \underline{Q_0}Q_2 + \underline{Q_1}Q_2 = Q_2 \oplus Q_0Q_1$$

# Contatori Sincroni

## Contatori Modulo 8 con FF D

$$D_0 = \underline{Q_0}$$

$$D_1 = Q_0 \oplus Q_1$$

$$D_2 = Q_2 \oplus Q_0Q_1$$

