

Corso di Calcolatori Elettronici I

Reti sequenziali notevoli: registri, registri a scorrimento, contatori

ing. Alessandro Ciarlo

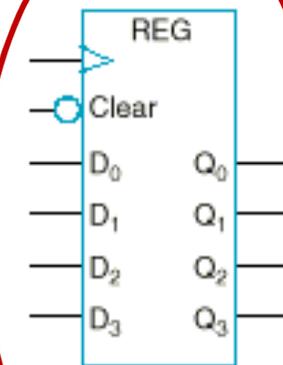
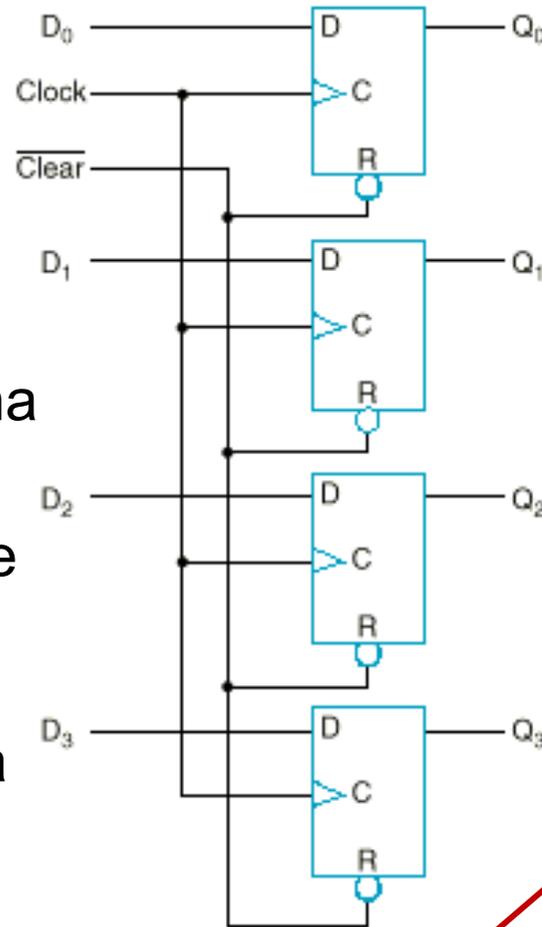
Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

Registri

- ◆ Memorizzano n differenti bit
- ◆ Possono essere realizzati come macchine sincrone o asincrone
- ◆ 2^n stati diversi
 - non vengono progettati con il metodo generale
 - si ricorre a schemi circuitali noti

Registri

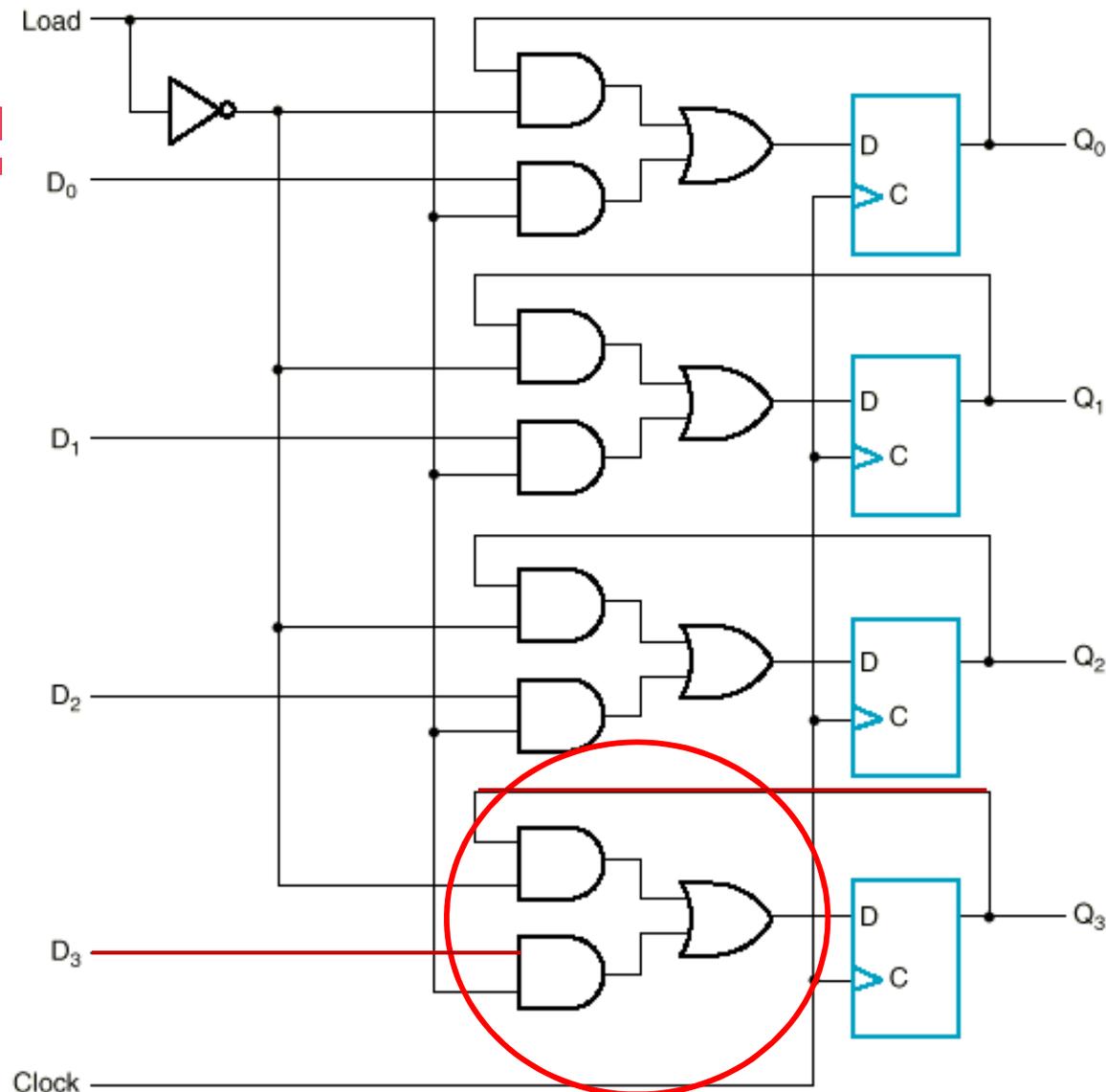
- ◆ Realizzati con n flip-flop
- ◆ Esempio in figura:
 - registro a sincronizzazione esterna
 - $n = 4$ bit
 - edge-triggered su fronte di salita
 - ingresso di clear (**R**) attivo basso: se si porta **R** a **0**, il registro viene resettato e conterrà quindi tutti bit pari **0**



Registri

- ◆ Registro a caricamento parallelo
 - **Load=1** trasferisce i 4 bit di ingresso nei flip-flop, *in parallelo*
 - **Load=0** lascia il contenuto del registro inalterato

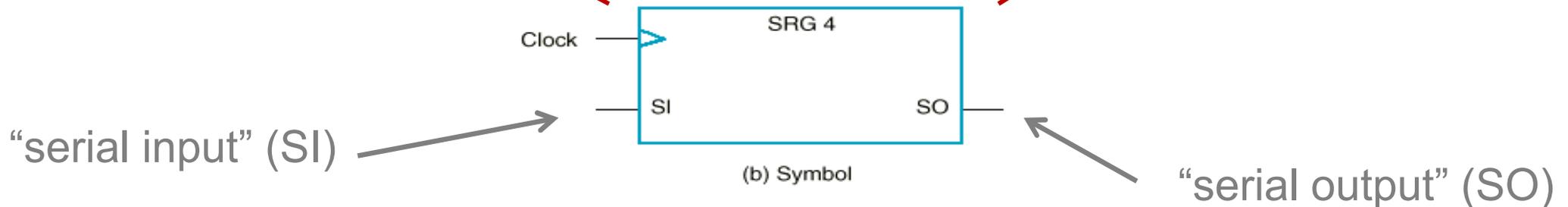
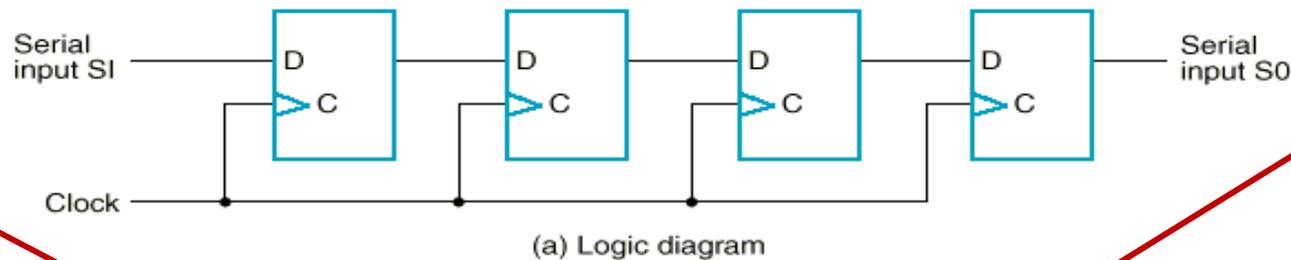
Sulla base dell'ingresso di selezione **Load**, il multiplexer 2:1 posto in ingresso a ciascun flip-flop riporta in ingresso il bit memorizzato Q_i (**Load=0**), o il bit letto dall'ingresso esterno D_i (**Load=1**)



← multiplexer 2:1 →

Registri a scorrimento (*shift registers*)

- ◆ Formati da una catena di flip-flop connessi *in cascata*
- ◆ Ad ogni colpo di clock, ogni flip-flop passa il proprio contenuto al flip-flop successivo

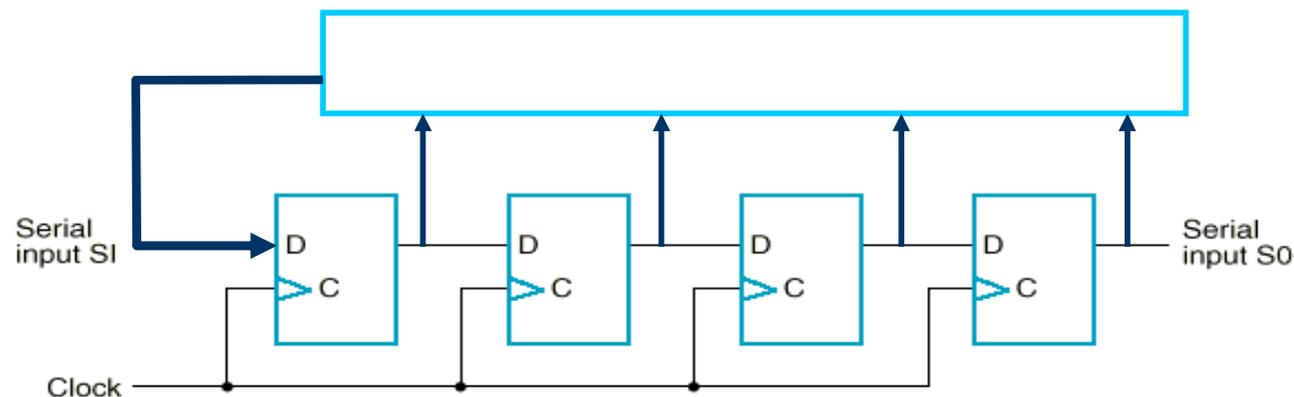


Registri a scorrimento con retroazione

Materiale facoltativo

- ◆ Una funzione dello stato è usata in ingresso
→ retroazione (*feedback*)

$$I = f(A_{n-1}, A_{n-2}, \dots, A_0)$$



Registri a scorrimento con retroazione

Materiale facoltativo

- ◆ In particolare, se $l = A_{n-1}$ (registro a scorrimento circolare) si possono realizzare contatori modulari, inizializzando opportunamente il registro
- ◆ Es.: se $n=4$, si possono ottenere contatori modulo 4 (inizializzandolo con 1000 o 1100) e modulo 2 (usando 0101)

1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1
1	0	0	0

1	1	0	0
0	1	1	0
0	0	1	1
1	0	0	1
1	1	0	0

0	1	0	1
1	0	1	0
0	1	0	1

Registri a scorrimento con retroazione

Materiale facoltativo

- ◆ Altro esempio:
 - $I = \text{not}(A_{n-1})$

Contatore
modulo 8



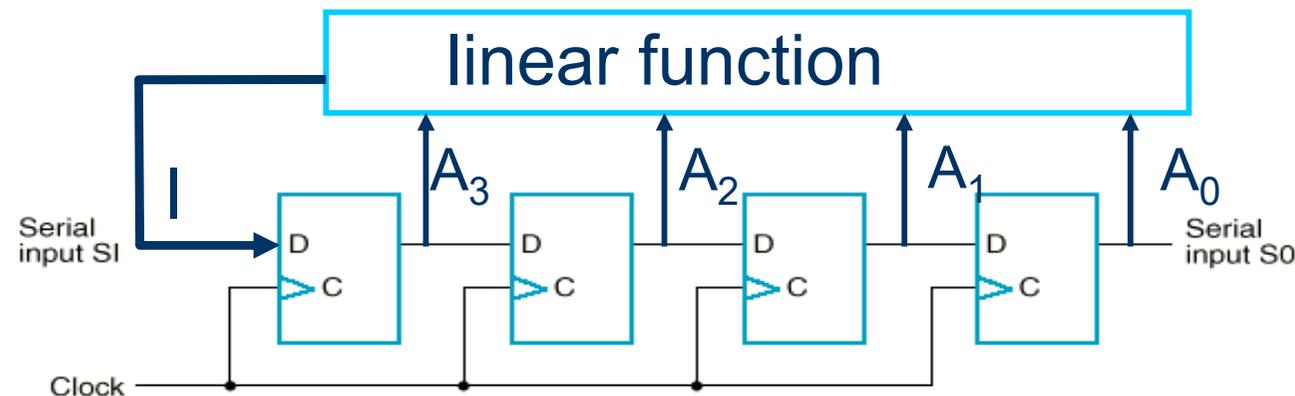
0	0	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0
1	1	1	0
1	1	1	1
0	1	1	1
0	0	1	1
0	0	0	1
0	0	0	0

Registri a scorrimento lineari

Materiale facoltativo

- ◆ Normalmente chiamati *Linear Feedback Shift Register* (LFSR)
- ◆ Una combinazione lineare dello stato è posta in ingresso

$$\begin{aligned} I &= f(A_{n-1}, A_{n-2}, \dots, A_0) = \\ &= k_{n-1}A_{n-1} \mathbf{xor} k_{n-2}A_{n-2} \mathbf{xor} \dots \mathbf{xor} k_0A_0 \end{aligned}$$



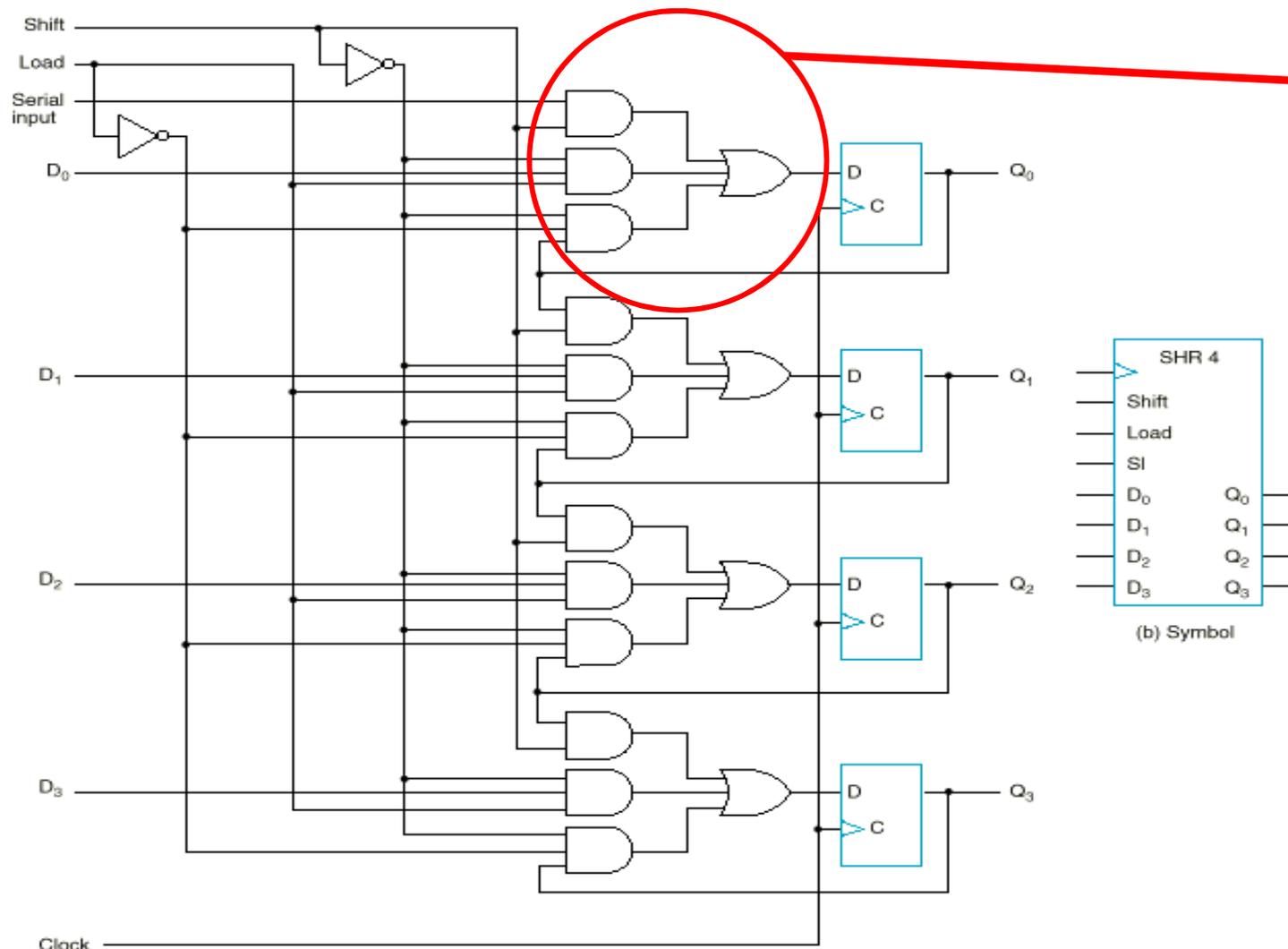
Registri a scorrimento lineari

Materiale facoltativo

- ◆ In generale, è possibile scegliere f in maniera tale da ottenere sequenze di valori che soddisfino certe proprietà
 - sequenze pseudo-casuali
 - sequenze a ciclo massimo (lunghe 2^n-1)
ottenute se la funzione f è un polinomio irriducibile su $GF(2)$
- ◆ I LFSR possono vedersi come sostituti dei contatori (più efficienti in termini realizzativi)

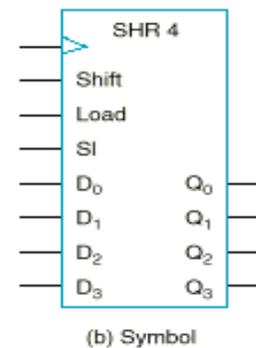
Registro a scorrimento con caricamento parallelo

Materiale facoltativo



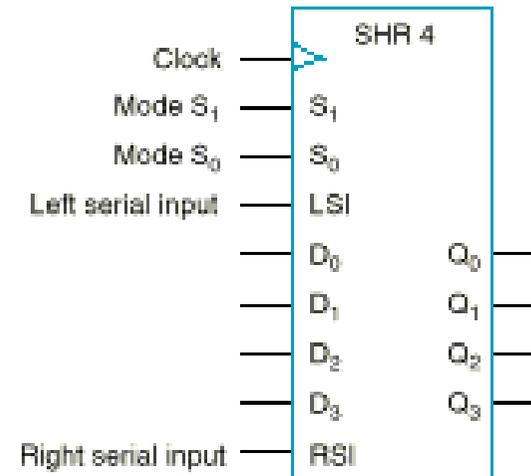
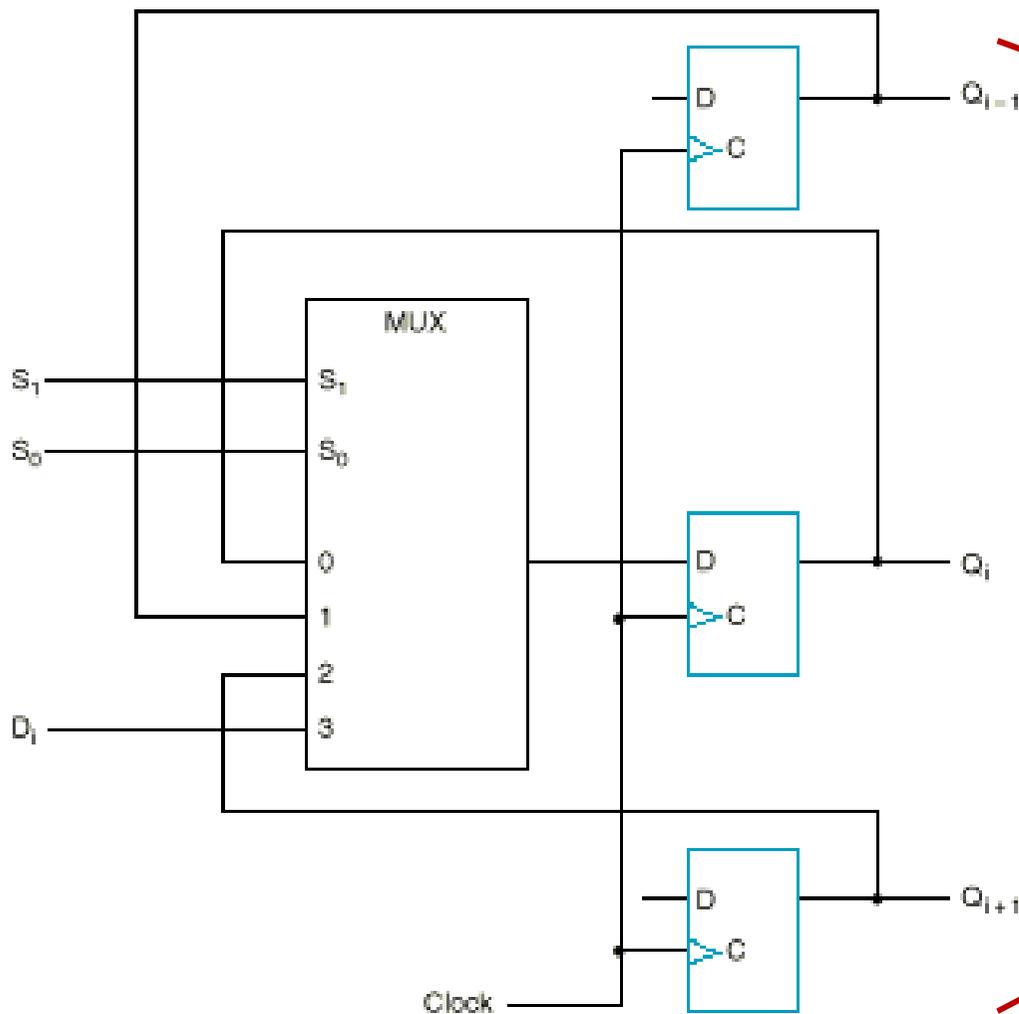
multiplexer 3:1

il multiplexer 3:1 consente di caricare in ciascun flip-flop il bit nella stessa posizione Q_i , quello nella posizione precedente Q_{i-1} , il bit proveniente dall'esterno D_i



Registro a scorrimento bidirezionale

Materiale facoltativo



(b) Symbol

il multiplexer (MUX) consente di caricare in ciascun flip-flop

il bit nella stessa posizione Q_i , quello nella posizione precedente Q_{i-1} , o quello nella posizione successiva Q_{i+1}

a seconda del valore dei segnali di selezione s_1, s_0

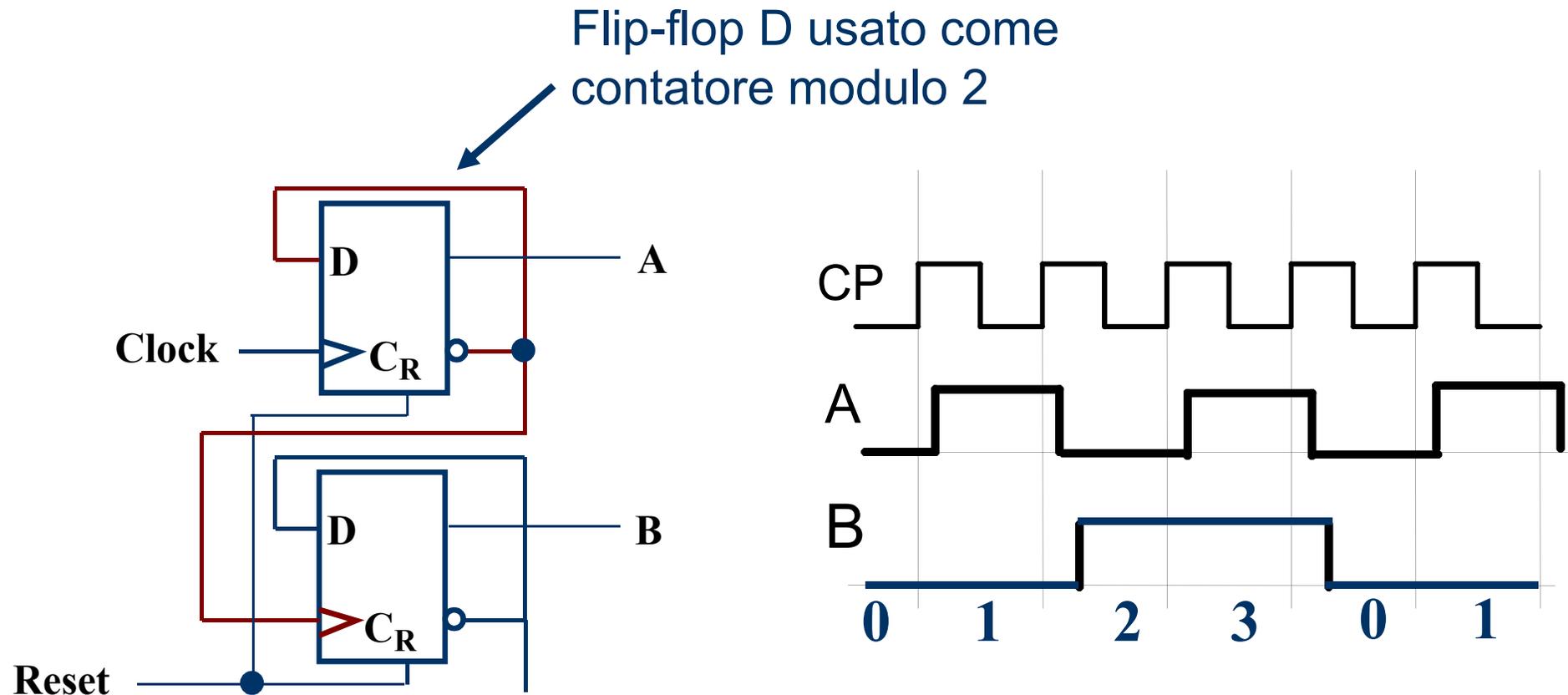
Contatori

- ◆ Posseggono n stati ordinati
- ◆ Un unico (*count*) ingresso fa progredire la rete attraverso la sequenza di stati ordinati
- ◆ un'opportuna codifica delle uscite rende questa macchina un contatore
- ◆ Se il primo stato coincide con lo stato successivo dell'ultimo stato, si realizza un contatore modulo n

Contatori

- ◆ Contatori a cascata (ripple-counter)
 - l'uscita di un elemento di memoria attiva l'elemento successivo
 - essenzialmente, sono realizzati connettendo più contatori modulo 2
- ◆ Contatori sincroni
 - il segnale di attivazione è comune agli elementi con memoria
 - una rete combinatoria “calcola” il prossimo valore memorizzato
- ◆ Contatori asincroni
 - attivati da transizioni sull'ingresso di conteggio
 - esempio: il flip-flop T è un contatore asincrono modulo 2

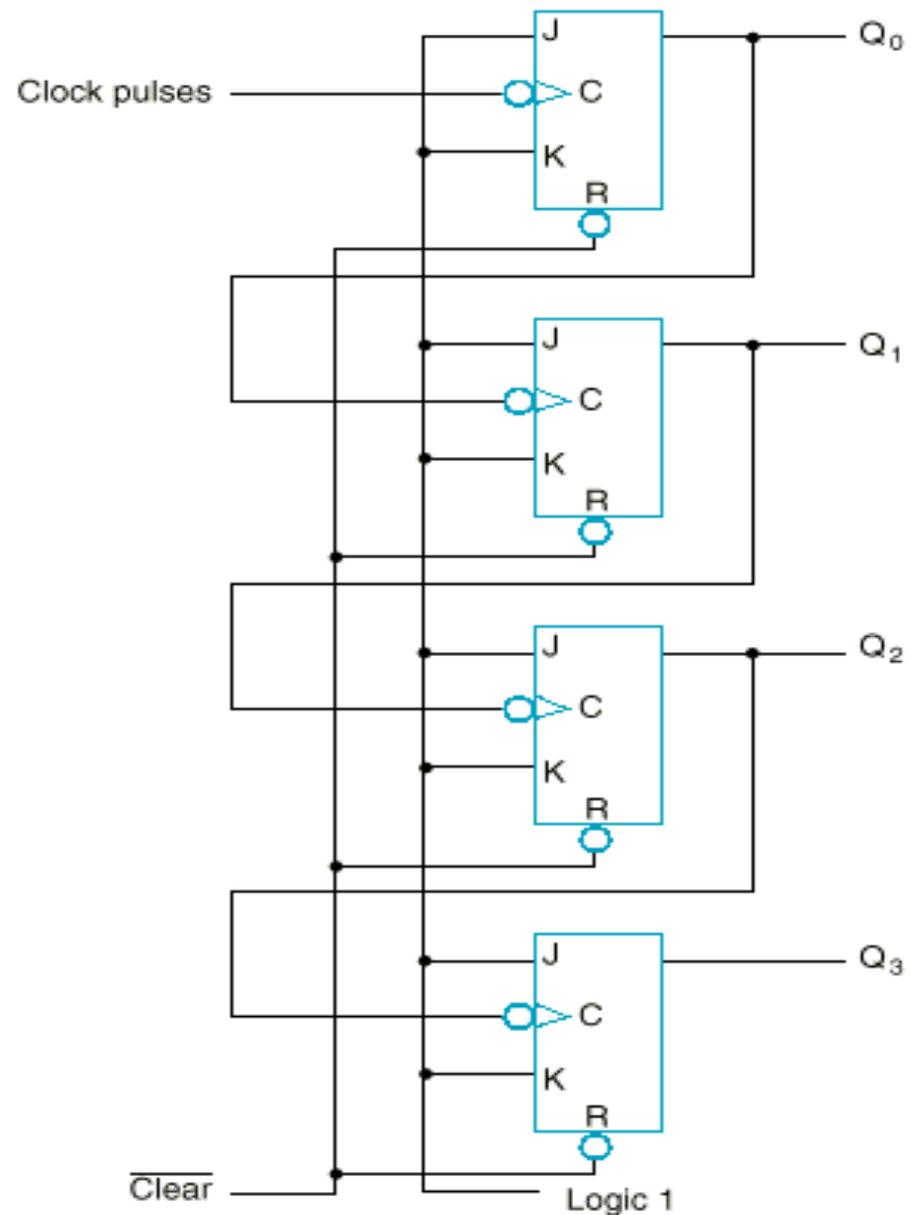
Contatori a Cascata



un contatore ad n bit può essere composto
connettendo come sopra n flip-flop

Contatori a Cascata

- ◆ contatore a crescere con flip-flop JK (in modalità *Toggle*)



Contatori a Cascata

- ◆ sono di semplice realizzazione
- ◆ vengono attivate solo le parti del circuito interessate alle transizioni
 - adatti a circuiti che richiedono basso consumo di potenza

Ma...

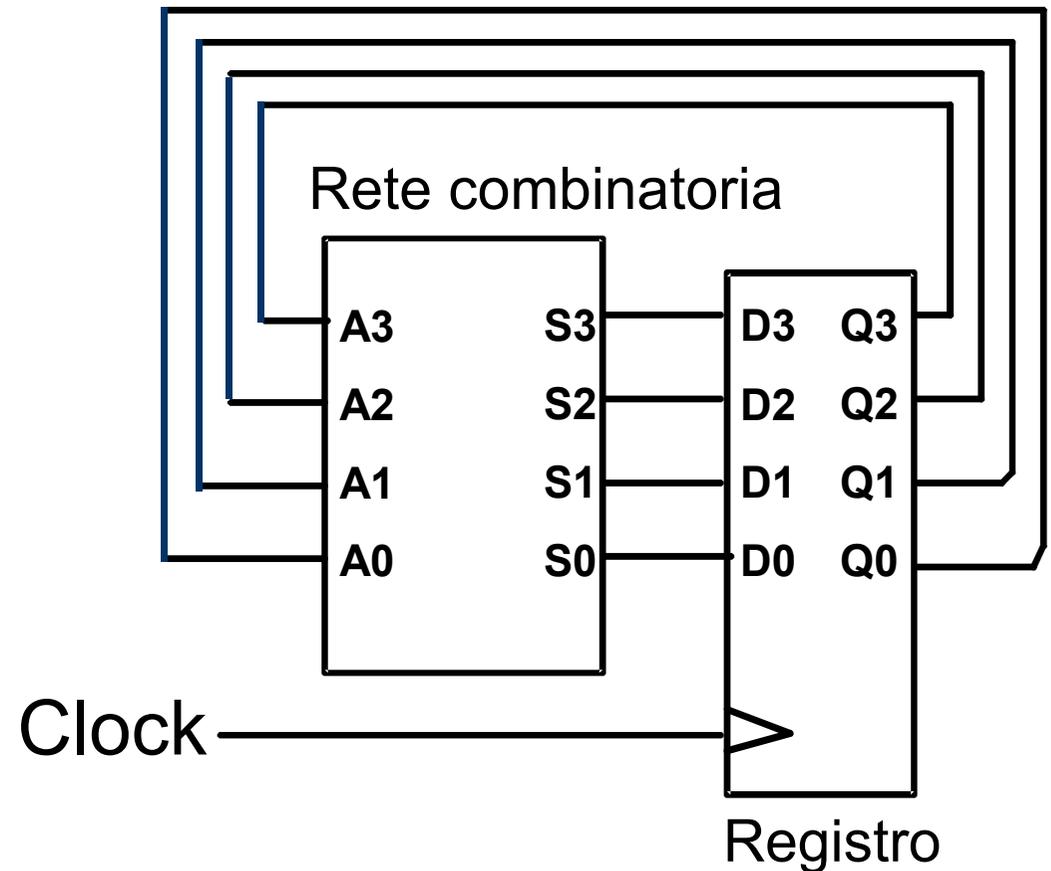
- ◆ particolarmente lenti per un alto numero di bit
- ◆ più critici da dimensionare a causa della dipendenza dei ritardi e del *clock skew*

Contatori sincroni

- ◆ segnale di sincronizzazione comune a tutti i flip-flop
 - elimina l'effetto "ripple" (propagazione lenta del riporto)
 - prestazioni migliori
- ◆ La rete combinatoria che "aggiorna" lo stato è progettata come per una qualsiasi macchina sequenziale sincrona
 - può essere realizzata con un adder
- ◆ Possibili ingressi ausiliari:
 - increment / decrement
 - reset
 - load

Contatori sincroni

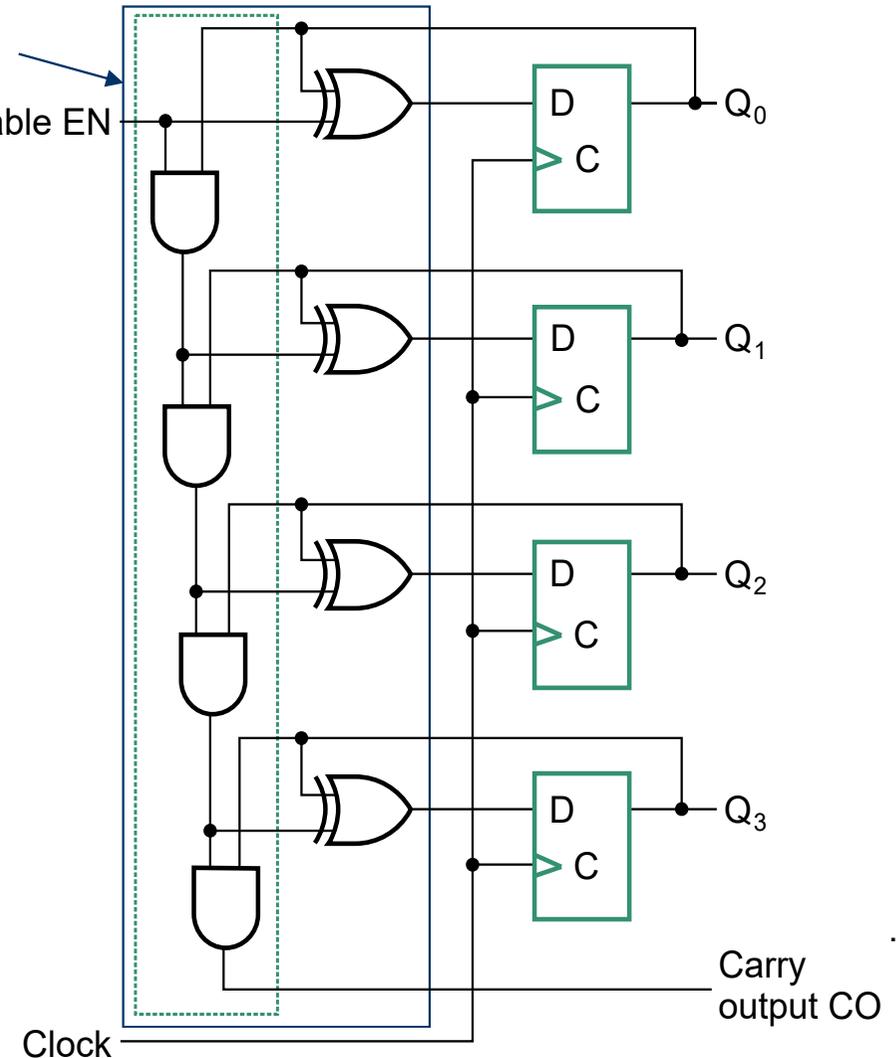
- ◆ Nel modello generale, una rete combinatoria definisce la dipendenza dello stato prossimo dallo stato corrente
- ◆ Determina la sequenza di stati percorsi durante il conteggio



Contatori sincroni

Materiale facoltativo

- ◆ “Catene di carry”:
 - ◆ serie di AND attraverso le quali scorre il riporto (serial gating)
- ◆ E' possibile sostituire la rete di propagazione con una rete progettata ad hoc (parallel gating)
 - ◆ ad es. carry lookahead

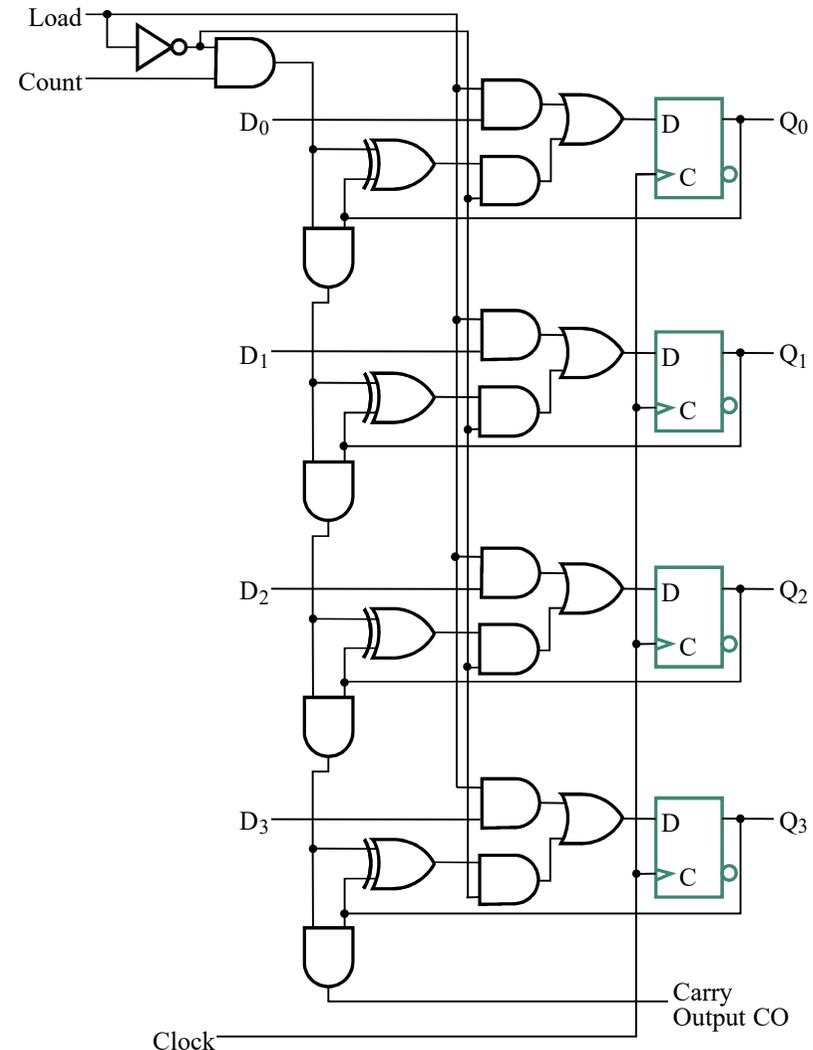


(a) Logic Diagram-Serial Gating

Contatori sincroni

Materiale facoltativo

- ◆ Contatore con caricamento parallelo
 - ◆ I multiplexer in ingresso ai flip-flop determinano se caricare in parallelo, o far evolvere il conteggio
- ◆ Esempio di *clock-gating*



Contatori sincroni

- ◆ Esempio di tabella degli stati per un contatore sincrono a 4 bit (16 stati)
- ◆ Non sono presenti ingressi:
 - nell'esempio, le transizioni sono implicitamente attivate dal clock

Present state				Next state			
Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1
0	1	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	1	1
1	0	1	1	1	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	1	0
1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0

Contattori sincroni: esempio

Present state				Next state				Flip-flop inputs							
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	J_{Q3}	K_{Q3}	J_{Q2}	K_{Q2}	J_{Q1}	K_{Q1}	J_{Q0}	K_{Q0}
0	0	0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	0	X	1	X
0	0	0	1	0	0	1	0	0	X	0	X	1	X	X	1
0	0	1	0	0	0	1	1	0	X	0	X	X	0	1	X
0	0	1	1	0	1	0	0	0	X	1	X	X	1	X	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	X	X	0	0	X	1	X
0	1	0	1	0	1	1	0	0	X	X	0	1	X	X	1
0	1	1	0	0	1	1	1	0	X	X	0	X	0	1	X
0	1	1	1	1	0	0	0	1	X	X	1	X	1	X	1
1	0	0	0	1	0	0	1	X	0	0	X	0	X	1	X
1	0	0	1	1	0	1	0	X	0	0	X	1	X	X	1
1	0	1	0	1	0	1	1	X	0	0	X	X	0	1	X
1	0	1	1	1	1	0	0	X	0	1	X	X	1	X	1
1	1	0	0	1	1	0	1	X	0	X	0	0	X	1	X
1	1	0	1	1	1	1	0	X	0	X	0	1	X	X	1
1	1	1	0	1	1	1	1	X	0	X	0	X	0	1	X
1	1	1	1	0	0	0	0	X	1	X	1	X	1	X	1

usiamo flip-flop JK:

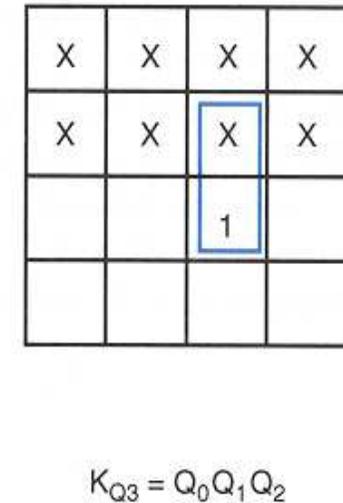
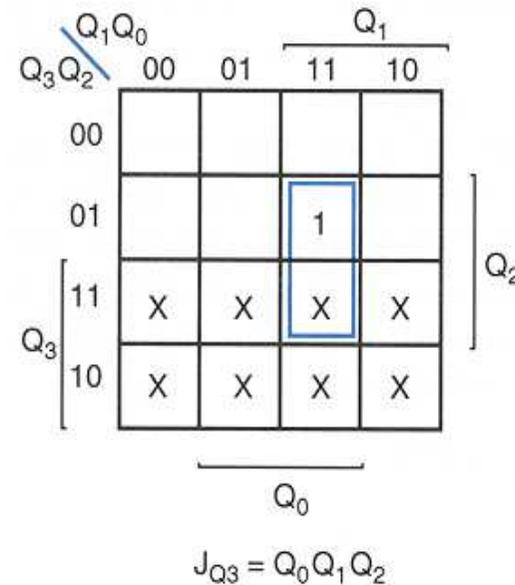
Flip-Flop Excitation Tables

(a) JK Flip-Flop

$Q(t)$	$Q(t+1)$	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Contatori sincroni: esempio

Present state				Next state				J_{Q3}	K_{Q3}
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0		
0	0	0	0	0	0	0	1	0	X
0	0	0	1	0	0	1	0	0	X
0	0	1	0	0	0	1	1	0	X
0	0	1	1	0	1	0	0	0	X
0	1	0	0	0	1	0	1	0	X
0	1	0	1	0	1	1	0	0	X
0	1	1	0	0	1	1	1	0	X
0	1	1	1	1	0	0	0	1	X
1	0	0	0	1	0	0	1	X	0
1	0	0	1	1	0	1	0	X	0
1	0	1	0	1	0	1	1	X	0
1	0	1	1	1	1	0	0	X	0
1	1	0	0	1	1	0	1	X	0
1	1	0	1	1	1	1	0	X	0
1	1	1	0	1	1	1	1	X	0
1	1	1	1	0	0	0	0	X	1



Contatori sincroni: esempio

Present state				Next state				Flip-flo	
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	J_{Q_2}	K_{Q_2}
0	0	0	0	0	0	0	1	0	X
0	0	0	1	0	0	1	0	0	X
0	0	1	0	0	0	1	1	0	X
0	0	1	1	0	1	0	0	1	X
0	1	0	0	0	1	0	1	X	0
0	1	0	1	0	1	1	0	X	0
0	1	1	0	0	1	1	1	X	0
0	1	1	1	1	0	0	0	X	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	X
1	0	0	1	1	0	1	0	0	X
1	0	1	0	1	0	1	1	0	X
1	0	1	1	1	1	0	0	1	X
1	1	0	0	1	1	0	1	X	0
1	1	0	1	1	1	1	0	X	0
1	1	1	0	1	1	1	1	X	0
1	1	1	1	0	0	0	0	X	1

		1	
X	X	X	X
X	X	X	X
		1	

$$J_{Q_2} = Q_0 Q_1$$

X	X	X	X
		1	
		1	
X	X	X	X

$$K_{Q_2} = Q_0 Q_1$$

Contatori sincroni: esempio

Present state				Next state				p inputs	
Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	J_{Q_1}	K_{Q_1}
0	0	0	0	0	0	0	1	0	X
0	0	0	1	0	0	1	0	1	X
0	0	1	0	0	0	1	1	X	0
0	0	1	1	0	1	0	0	X	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	X
0	1	0	1	0	1	1	0	1	X
0	1	1	0	0	1	1	1	X	0
0	1	1	1	1	0	0	0	X	1
1	0	0	0	1	0	0	1	0	X
1	0	0	1	1	0	1	0	1	X
1	0	1	0	1	0	1	1	X	0
1	0	1	1	1	1	0	0	X	1
1	1	0	0	1	1	0	1	0	X
1	1	0	1	1	1	1	0	1	X
1	1	1	0	1	1	1	1	X	0
1	1	1	1	0	0	0	0	X	1

		1	X	X
		1	X	X
		1	X	X
		1	X	X

$$J_{Q_1} = Q_0$$

X	X	1	
X	X	1	
X	X	1	
X	X	1	

$$K_{Q_1} = Q_0$$

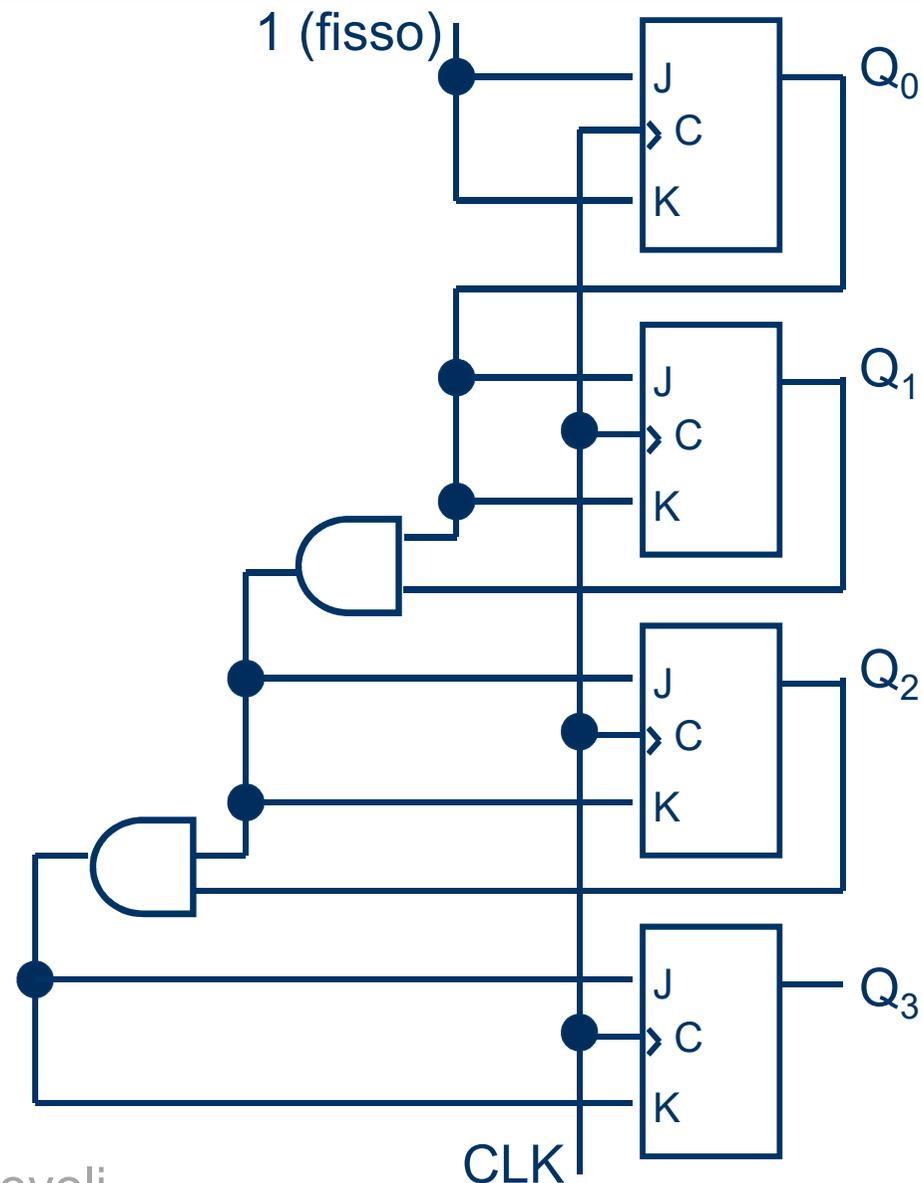
Contatori sincroni: esempio

$$J_{Q_0} = 1$$
$$K_{Q_0} = 1$$

$$J_{Q_1} = Q_0$$
$$K_{Q_1} = Q_0$$

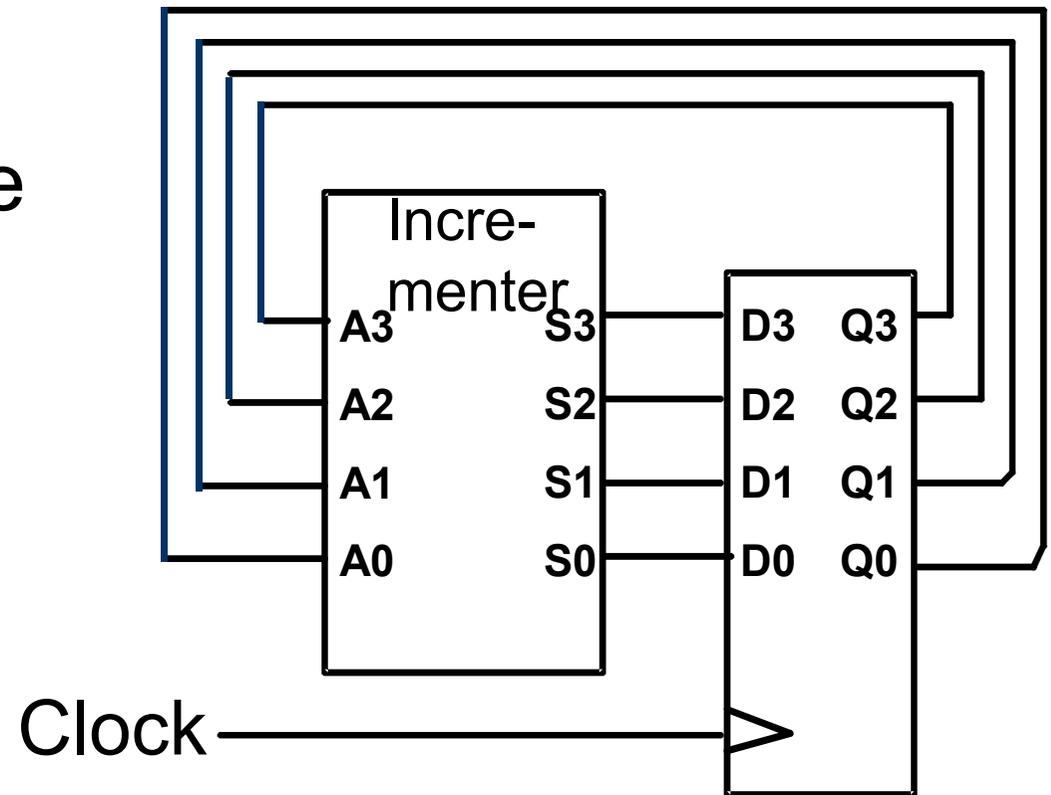
$$J_{Q_2} = Q_0 Q_1$$
$$K_{Q_2} = Q_0 Q_1$$

$$J_{Q_3} = Q_0 Q_1 Q_2$$
$$K_{Q_3} = Q_0 Q_1 Q_2$$



Contatori sincroni

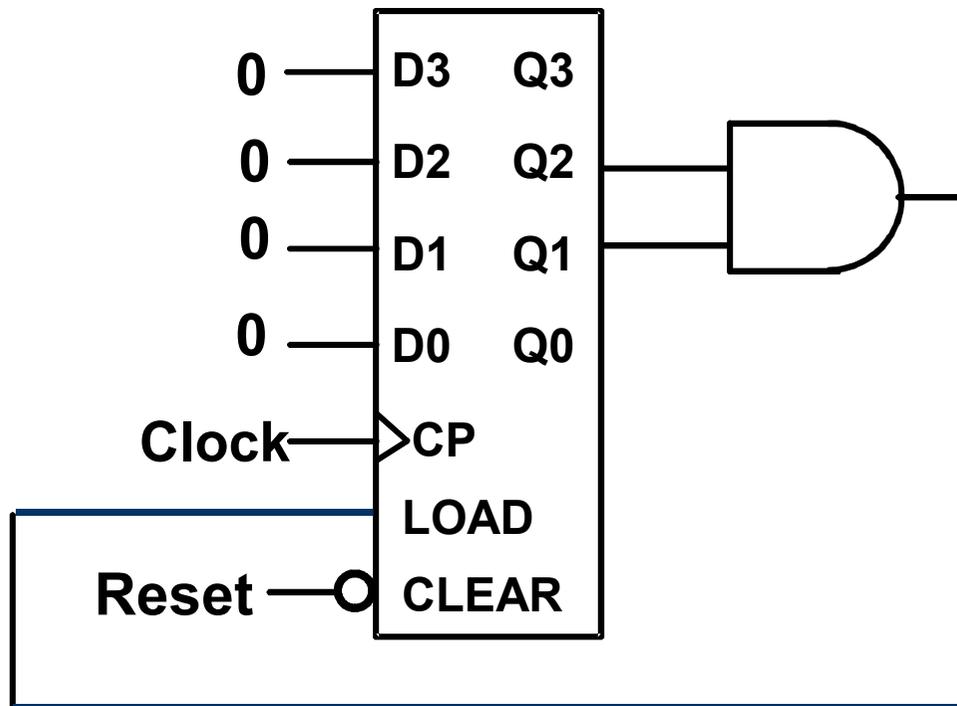
- ◆ La rete di aggiornamento può essere realizzata come un addizionatore, o meglio come un “incrementatore”



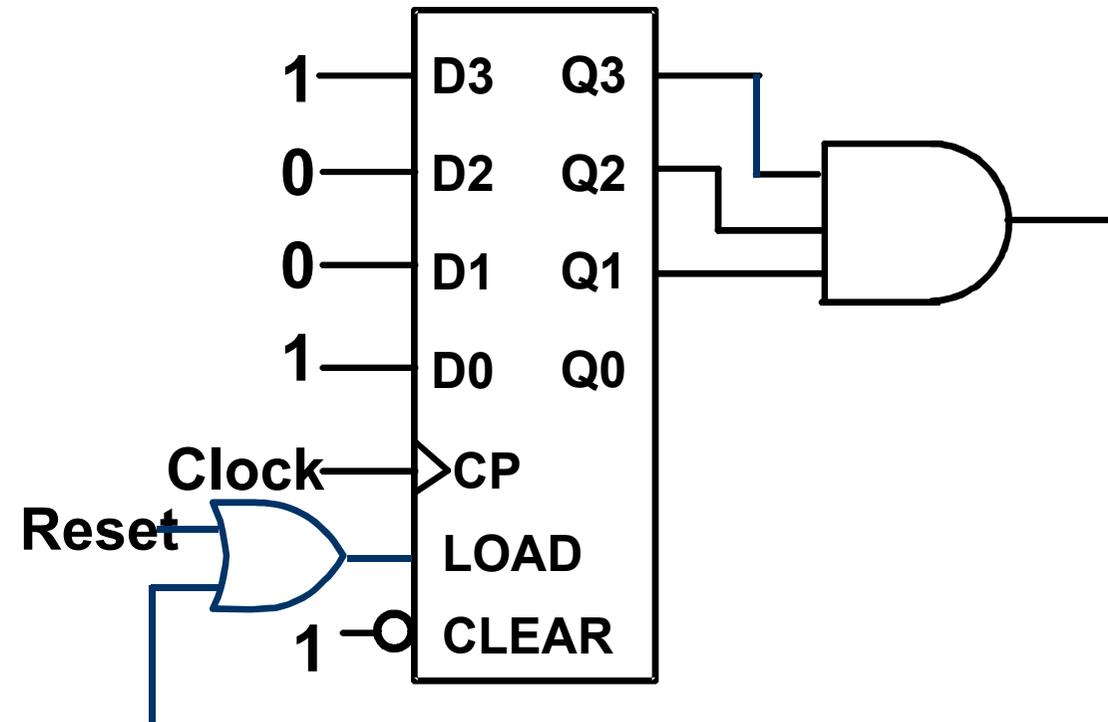
Contatori modulari

- ◆ E' possibile realizzare contatori modulari con un modulo diverso da una potenza di 2
- ◆ Basta che il contatore si "auto-resetti" appena ha raggiunto il valore massimo di conteggio

Contatori modulari



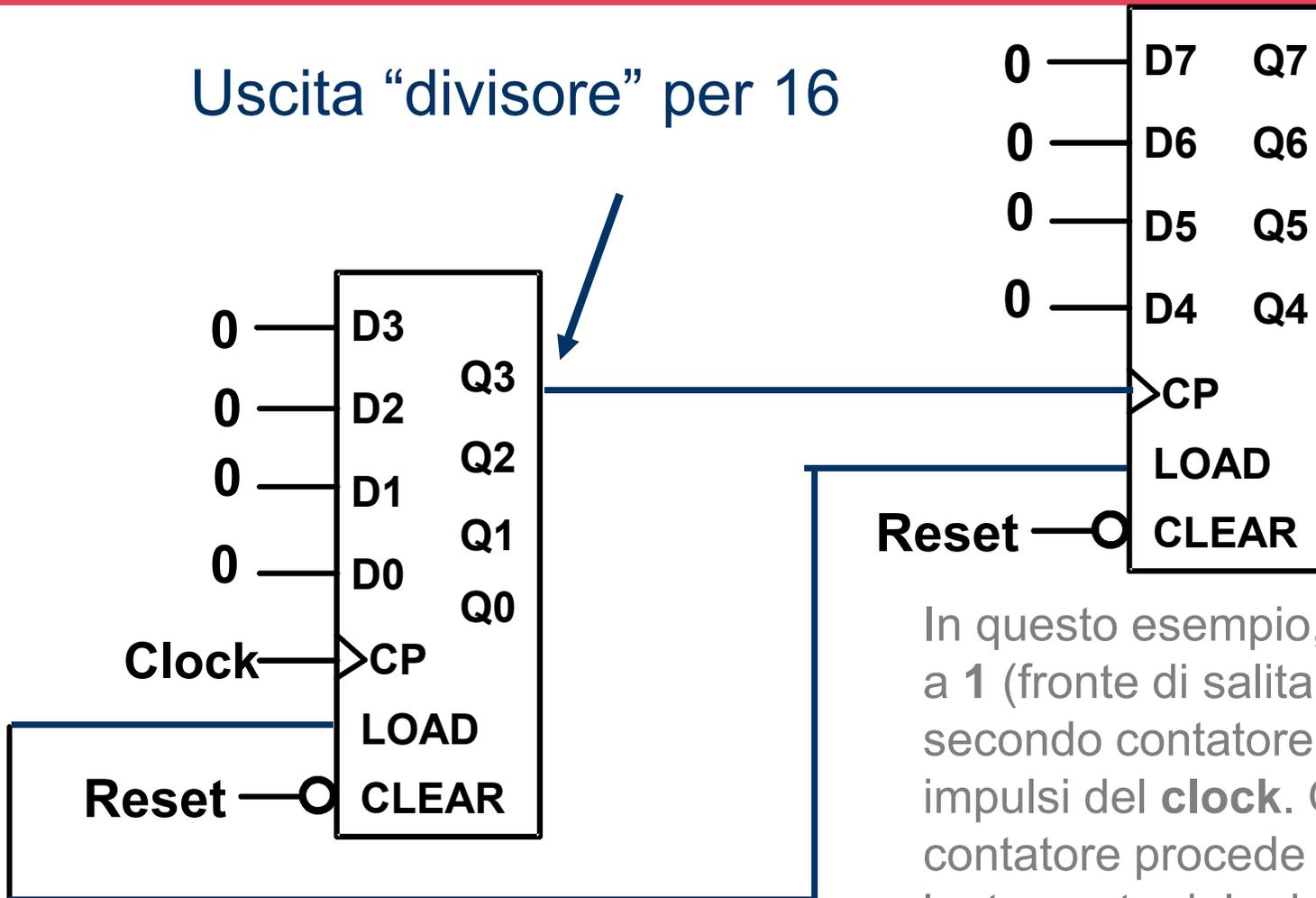
In questo esempio, appena Q_2 e Q_1 diventano insieme 1, il contatore si resetta e ricomincia da capo. Ciò accade appena il conteggio arriva a $Q_3Q_2Q_1Q_0 = 0110$. Il componente è un contatore **modulo 7**



In questo esempio, appena $Q_3 Q_2 Q_1$ diventano insieme 1, il contatore si resetta e ricomincia dal valore **1001**. Ciò accade appena il conteggio arriva a $Q_3Q_2Q_1Q_0 = 1110$. Il componente è un contatore **modulo 6**

Comporre contatori

Uscita "divisore" per 16



In questo esempio, appena Q_3 passa da 0 a 1 (fronte di salita) viene attivato il secondo contatore. Ciò accade ogni sedici impulsi del **clock**. Quindi il secondo contatore procede sedici volte più lentamente del primo. Complessivamente, le uscite Q_7 Q_6 Q_5 Q_4 Q_3 Q_2 Q_1 Q_0 realizzano un conteggio modulo $2^8=256$

Contatori asincroni

Materiale facoltativo

- ◆ Nel modello a stati, sono molto simili al flip-flop T (che è un contatore modulo 2)
 - contano le transizioni dei fronti
 - problemi di alee essenziali

c \ stat	0	1	uscita
q ₀₀	q ₀₁	q ₀₀	0
q ₀₁	q ₁₀	q ₁₁	0
q ₁₁	q ₁₀	q ₁₁	1
q ₁₀	q ₁₀	q ₀₀	1

c \ stat	0	1	uscita
q ₀₀	q ₀₁	q ₀₀	0
q ₀₁	q ₀₁	q ₁₁	1
q ₁₁	q ₁₀	q ₁₁	2
q ₁₀	q ₁₀	q ₀₀	3