

Esercitazione 13 - Gruppo AD

Macchine a Stati Finiti: progettazione ed implementazione del controllo di un semaforo

Alessandro Podo

Federica Maria Surace

27 aprile 2015

1 Semaforo nello stato abilitato

Nella prima parte dell'esperienza è stato progettato e montato un circuito che gestisce un semaforo, utilizzando il concetto di macchina a stati finiti. Il circuito progettato si comporta secondo il seguente diagramma (figura 1).

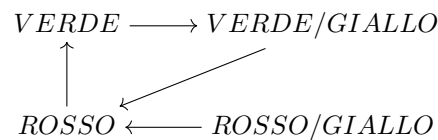


Figura 1: Semaforo nello stato abilitato: diagramma della macchina a stati finiti.

Gli stati $ROSSO \rightarrow VERDE \rightarrow VERDE - GIALLO$ realizzano il ciclo richiesto, mentre lo stato $ROSSO - GIALLO$, pur essendo possibile come stato iniziale, porta immediatamente al ciclo corretto e non può più essere realizzato. Tutti gli altri stati che si potrebbero avere con i tre LED non sono in realtà ottenibili con il circuito costruito, in quanto il LED rosso e il LED verde non possono essere mai entrambi spenti o entrambi accesi (nello stato abilitato).

Lo schema circuitale è riportato in figura 2.

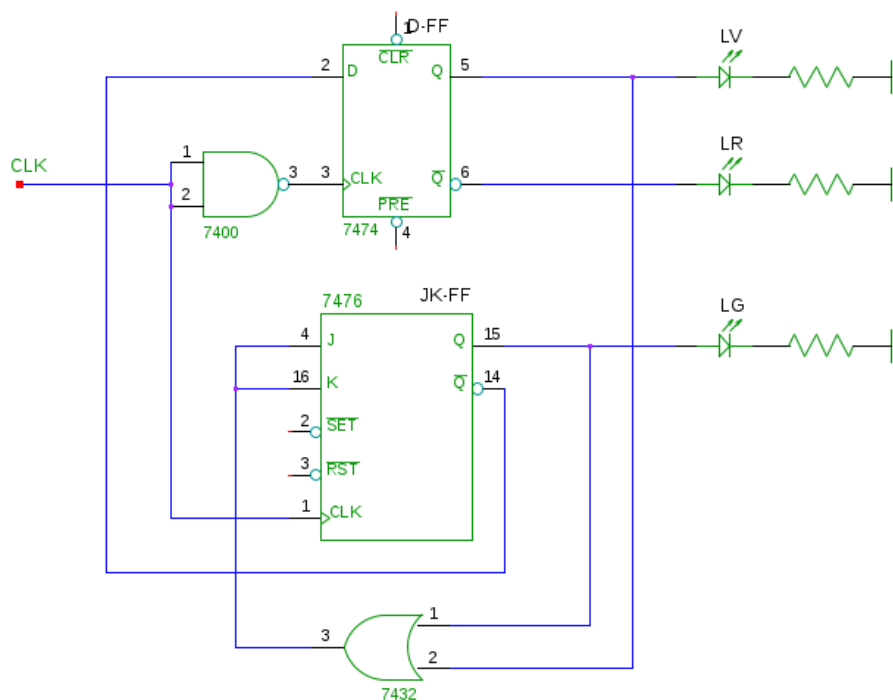


Figura 2: Semaforo nello stato abilitato: schema circuitale.

Chiamato D l'ingresso del D-FF, JK l'ingresso ($J = K$) del JK-FF, Q_D e Q_{JK} le uscite dei flipflop, possiamo scrivere per i LED (LV =LED verde, LG =LED giallo, LR =LED rosso) le seguenti relazioni:

$$LV = Q_D$$

$$LR = \overline{Q_D}$$

$$LG = Q_{JK}$$

La scelta effettuata permette di controllare il LED giallo separatamente da quelli rosso e verde. Questi ultimi, invece, sono controllati da un solo flip-flop in modo da semplificare il circuito: infatti, come precisato in precedenza, il rosso e il verde sono sempre in stati opposti (alto-basso o basso-alto). Perciò gli stati realizzabili sono quelli riportati in tabella 1.

Tabella 1: Stati possibili per il semaforo abilitato.

| Q_D | Q_{JK} | LV | LR | LG | Stato |
|-------|----------|------|------|------|--------------|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | Rosso |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | Verde |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | Rosso-Giallo |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | Verde-Giallo |

Nella tavola di verità (tabella 2) sono riportati gli stati del circuito in due istanti successivi. I valori di D e JK riportati in tabella sono quelli che è necessario avere in ingresso ai flip flop D e JK affinché il circuito rispetti il diagramma in figura 1, facendo le giuste transizioni. Possiamo quindi imporre le seguenti relazioni:

$$D = \overline{Q_{JK}}$$

$$JK = Q_{JK} + Q_D$$

Tabella 2: Tavola di verità per il semaforo abilitato.

| Stato N | | | | | Stato $N + 1$ | | |
|-----------|----------|--------------|-----|------|---------------|----------|--------------|
| Q_D | Q_{JK} | Stato | D | JK | Q_D | Q_{JK} | Stato |
| 0 | 0 | Rosso | 1 | 0 | 1 | 0 | Verde |
| 1 | 0 | Verde | 1 | 1 | 1 | 1 | Verde-Giallo |
| 0 | 1 | Rosso-Giallo | 0 | 1 | 0 | 0 | Rosso |
| 1 | 1 | Verde-Giallo | 0 | 1 | 0 | 0 | Rosso |

Il circuito è stato montato e il corretto funzionamento è stato verificato in primo luogo inviando un clock a bassa frequenza, in modo da poter osservare l'accensione dei LED, e successivamente attraverso l'oscilloscopio. In figura 3 si possono osservare le forme d'onda delle tre uscite corrispondenti ai LED.

2 Semaforo con lampeggiante

Il progetto del circuito è stato modificato in modo da avere due stati possibili per il funzionamento del semaforo: nello stato ABILITATO il semaforo realizza il ciclo descritto in precedenza, mentre nello stato DISABILITATO il semaforo oscilla tra lo stato GIALLO e lo stato SPENTO ad ogni colpo di clock. Infatti, con l'inclusione del segnale di abilitazione, si ha un nuovo stato possibile per il semaforo in cui tutti i LED sono tutti spenti.

Detto E il segnale che controlla se il semaforo si trova nello stato abilitato ($E=0$) o disabilitato ($E=1$), la tabella di verità per lo stato abilitato è la stessa disegnata in precedenza (tabella 2). Dal momento che nello stato disabilitato i LED verde e rosso devono essere spenti per qualsiasi valore di Q_D , mentre nel caso abilitato devono restare valide le relazioni esposte in precedenza, si è posto:

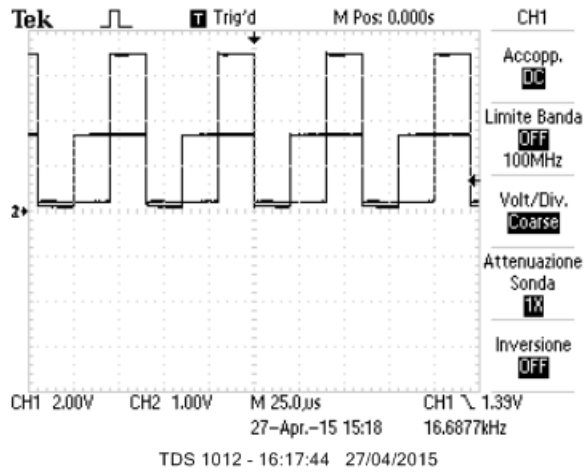
$$LV = Q_D \cdot \overline{E}$$

$$LR = \overline{Q_D} \cdot \overline{E}$$

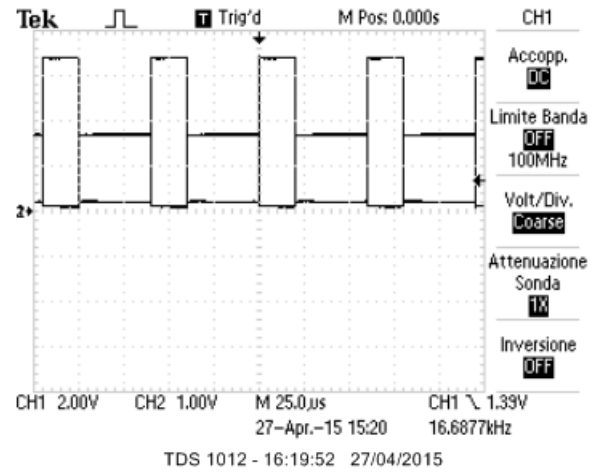
$$LG = Q_{JK}$$

Poiché lo stato del semaforo nel caso in cui sia disabilitato non dipende dal valore di Q_D si è deciso di non modificare l'equazione relativa all'ingresso del flip flop D usata in precedenza:

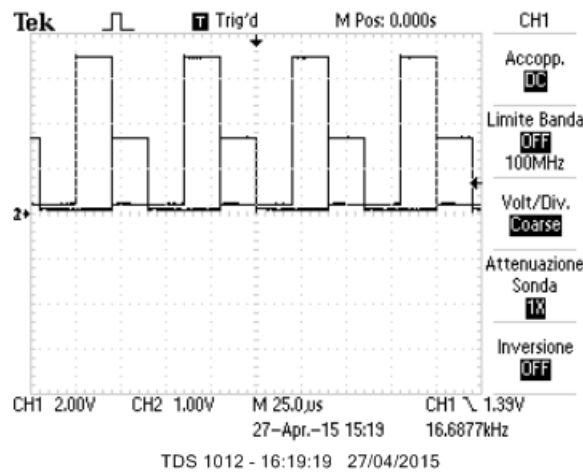
$$D = \overline{Q_{JK}}$$



(a) Verde e Giallo



(b) Verde e Rosso



(c) Rosso e Giallo

Figura 3: Semaforo nello stato abilitato.

Affinché il semaforo oscilli tra lo stato giallo e quello spento è invece necessario che il valore di Q_{JK} cambi ad ogni colpo di clock. Il flip flop JK deve pertanto trovarsi nello stato di toggle quando il semaforo è disabilitato, mentre nel caso abilitato deve restare valida la relazione precedente. Pertanto si è posto:

$$JK = (Q_{JK} + Q_D) \cdot \bar{E} + E = Q_{JK} + Q_D + E$$

Nel caso disabilitato la tabella di verità è quindi la seguente:

Tabella 3: Tavola di verità per il semaforo disabilitato.

| E | Stato N | | | | Stato $N + 1$ | | | |
|-----|-----------|----------|--------|-----|---------------|-------|----------|--------|
| | Q_D | Q_{JK} | Stato | D | JK | Q_D | Q_{JK} | Stato |
| 1 | 0 | 1 | Giallo | 0 | 1 | 0 | 0 | Spento |
| 1 | 0 | 0 | Spento | 1 | 1 | 1 | 1 | Giallo |
| 1 | 1 | 1 | Giallo | 0 | 1 | 0 | 0 | Spento |
| 1 | 1 | 0 | Spento | 1 | 1 | 1 | 1 | Giallo |

Come si può facilmente vedere dalla tabella di verità, nello stato disabilitato il circuito oscilla tra lo stato con $Q_D = Q_{JK} = 0$ e lo stato con $Q_D = Q_{JK} = 1$. Gli stati con $Q_D \neq Q_{JK}$ vengono ricondotti ai precedenti alla prima transizione. Lo schema circuitale è riportato in figura 4.

Il circuito è stato montato e il corretto funzionamento è stato verificato in primo luogo inviando un clock a bassa frequenza, in modo da poter osservare l'accensione dei LED, e successivamente attraverso l'oscilloscopio. Le forme d'onda relative allo stato abilitato coincidono con quelle rappresentate in precedenza (figura 3). In figura 5 si possono osservare le forme d'onda delle uscite corrispondenti ai LED per lo stato disabilitato. Come atteso, i LED rosso e verde risultano sempre spenti mentre il LED giallo lampeggia in modo sincrono al clock.

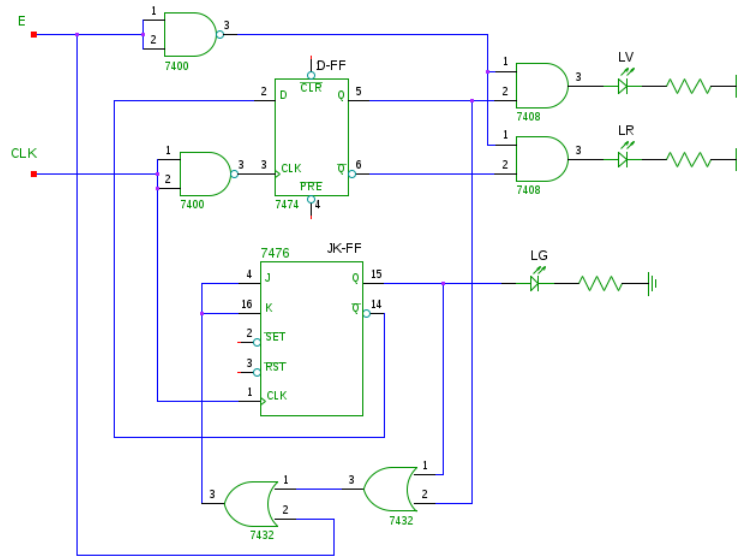
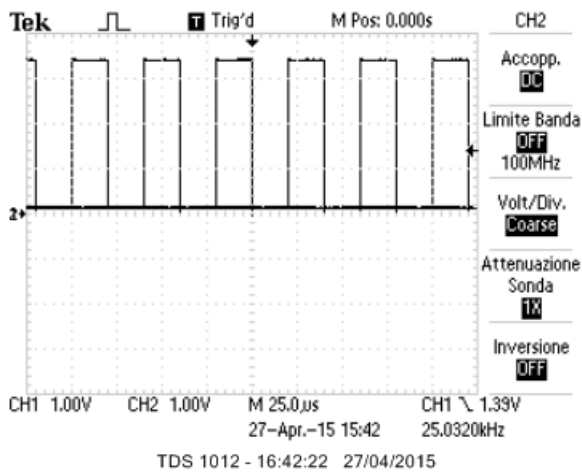
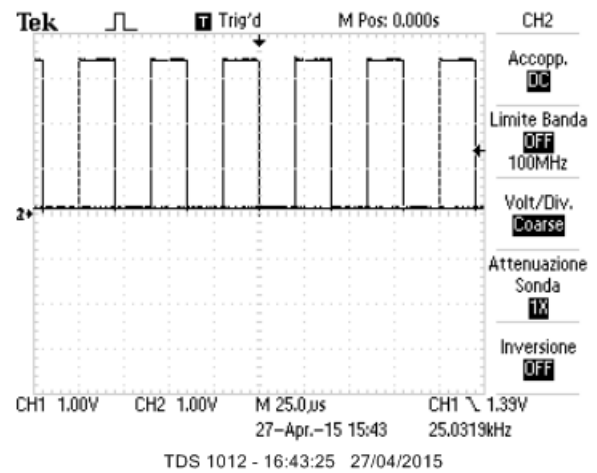


Figura 4: Semaforo con controllo dell'abilitazione: schema circuitale.



(a) Verde e Giallo



(b) Rosso e Giallo

Figura 5: Semaforo nello stato disabilitato.

Abilitazione sincrona

Nel circuito sopra descritto la transizione tra lo stato abilitato e quello disabilitato avviene in modo asincrono, ovvero non appena il segnale di abilitazione (E) cambia¹. Dopo aver realizzato il circuito con abilitazione asincrona si è modificato il progetto in modo da avere una transizione sincrona con il clock. Questo è facile da ottenere: infatti è sufficiente sincronizzare il segnale in uscita dal NOT che segue l'enable (E) tramite un flip flop. In particolare si è usato un flip flop JK con $J = \overline{E}$ e $K = E$.

Per ottenere una disabilitazione che avvenga solo dopo che si è raggiunto lo stato ROSSO si è usato come segnale di clock per tale flip flop JK il segnale $\overline{Q_D}$. Infatti nello stato abilitato tale segnale è alto solo quando il LED rosso è acceso; poiché il flip flop JK transisce sul fronte di discesa si ha che il semaforo passa allo stato disabilitato soltanto dopo che è stato completato tutto il ciclo e il led rosso si è spento. L'altro ramo del segnale di abilitazione (quello che è messo in OR con Q_D e Q_{JK}) non ha bisogno di essere sincronizzato. Infatti il circuito passa nello stato disabilitato quando $E = 1$; tuttavia quando il circuito è nello stato abilitato con LED verde acceso o LED giallo acceso l'uscita degli OR è già alta a prescindere dal valore di E; quando è acceso il LED rosso, il fatto che l'uscita degli OR sia alta a causa del segnale di abilitazione non costituisce un problema perché al colpo di clock successivo il circuito passa nello stato disabilitato in cui il LED giallo deve lampeggiare.

¹Nell'implementazione pratica il segnale di abilitazione è controllato per mezzo di un interruttore.

Nello stato disabilitato, come descritto in precedenza, il segnale Q_D oscilla tra 0 e 1 in modo sincrono al clock. Pertanto anche la transizione da stato disabilitato a stato abilitato avviene in modo sincrono.

In figura 6 è rappresentato lo schema del circuito appena descritto. Le forme d'onda che documentano il funzionamento del circuito sono riportate in figura 7.

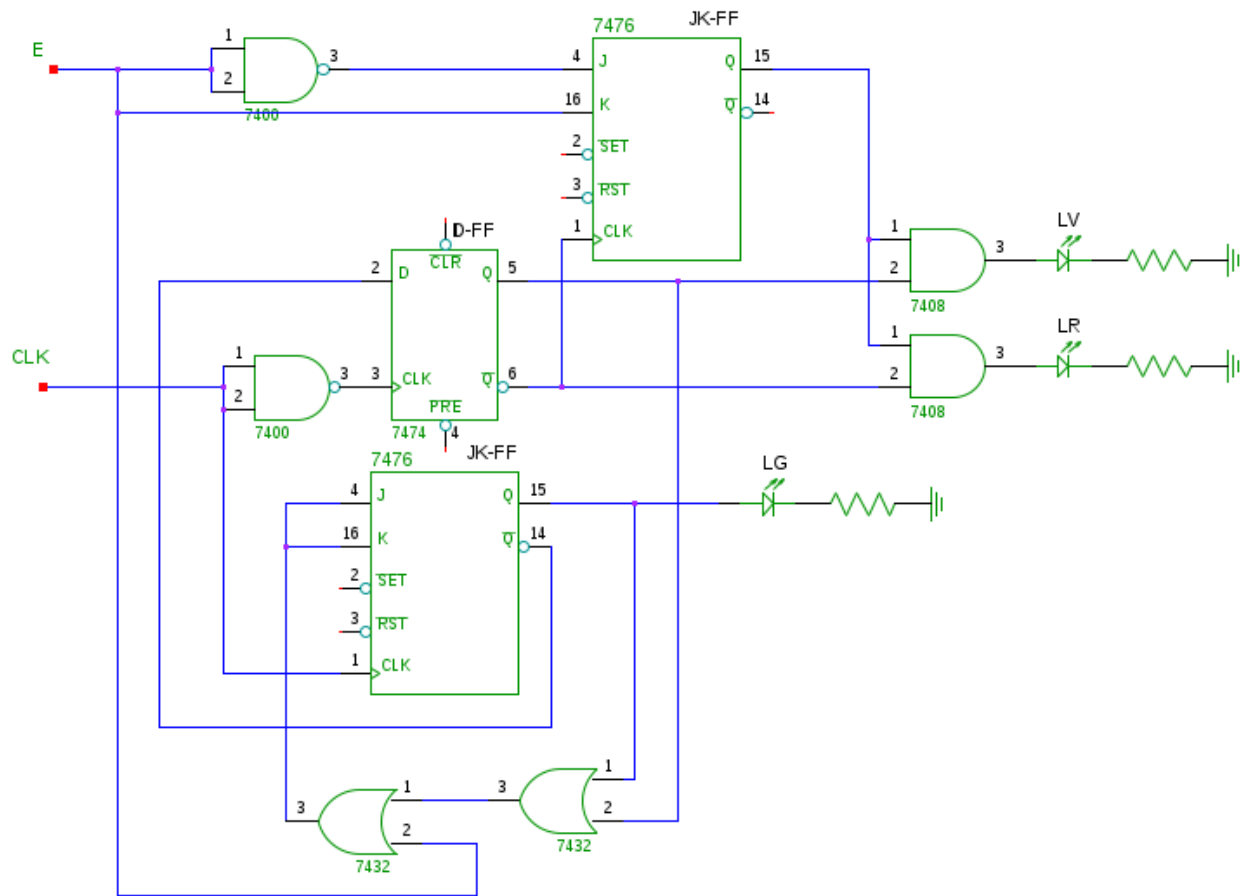
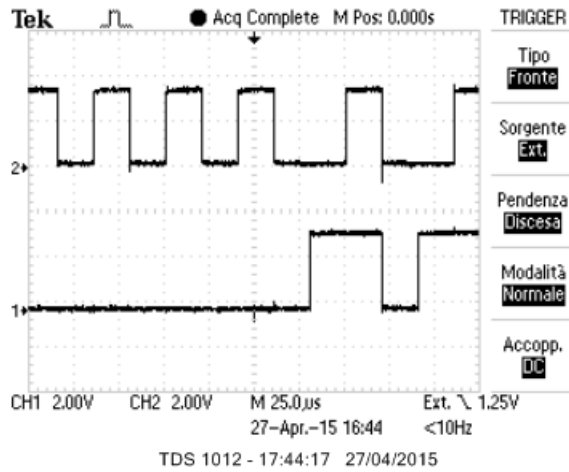
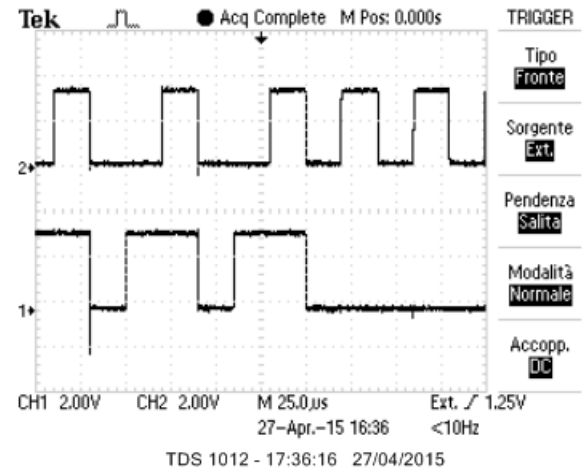


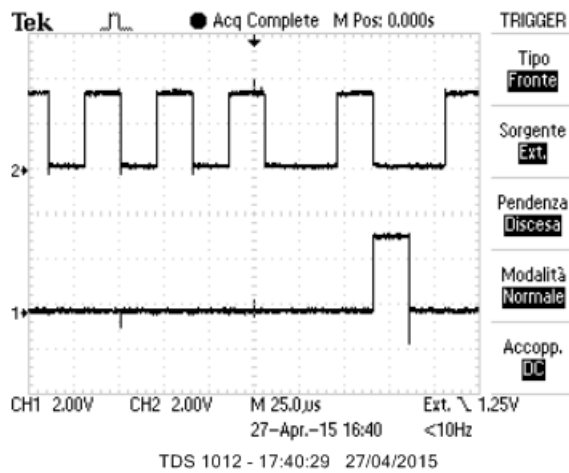
Figura 6: Semaforo con controllo dell'abilitazione sincrono: il passaggio da stato abilitato a disabilitato avviene solo dopo aver completato il ciclo raggiungendo il rosso.



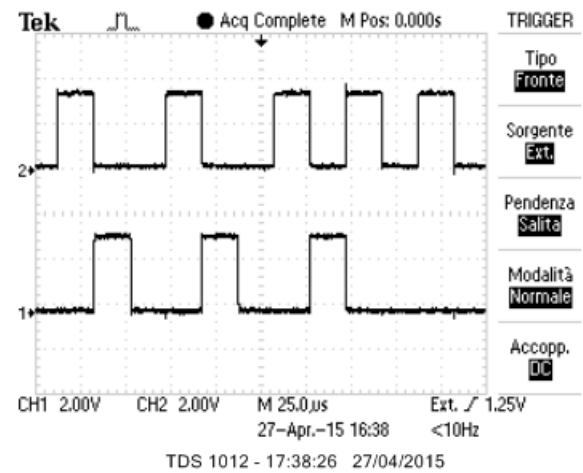
(a) Giallo e Verde



(b) Giallo e Verde



(c) Giallo e Rosso



(d) Giallo e Rosso

Figura 7: Semaforo con abilitazione sincrona. Nelle immagini a sinistra è rappresentata la transizione tra stato disabilitato e stato abilitato; nelle immagini a destra è rappresentata la transizione tra stato abilitato e disabilitato. In ogni immagine il segnale relativo al LED giallo è rappresentato in alto. Il trigger è usato in modalità singola acquisizione e scatta nel momento in cui viene cambiato il segnale di abilitazione tramite l'interruttore. Come si può vedere dalle immagini a destra, la transizione tra stato abilitato e disabilitato avviene solo una volta che è stato completato il ciclo e il semaforo ha raggiunto lo stato rosso.

2.1 Semaforo reale

Per la progettazione di un semaforo reale (ovvero con una durata di 10 colpi di clock per gli stati verde e rosso, 1 colpo di clock per lo stato verde-giallo e per il semaforo disabilitato) è stato usato un contatore decadico, montato secondo lo schema in figura 8.

Il contatore si avvia quando il reset è basso, ovvero quando il giallo è spento e l'enable² è spento ($RESET = Q_{JK} + E$), quindi solo negli stati VERDE e ROSSO. Per tutta la durata del conteggio, i flipflop che forniscono le uscite per i LED non hanno transizioni in quanto ricevono un clock costantemente alto. Non appena il contatore arriva a 10, si ha il reset (basta porre $RESET = Q_{JK} + Q_E + (Q_1 \cdot Q_3)$) e i flipflop tornano ad essere sincronizzati con il clock esterno. Il funzionamento del circuito è stato verificato utilizzando un simulatore.

²Si è scelto di collegare al reset del contatore l'uscita (sincrona) del flipflop JK e non direttamente l'enable in modo che i tempi siano corretti anche nel passaggio da abilitato e disabilitato e viceversa.

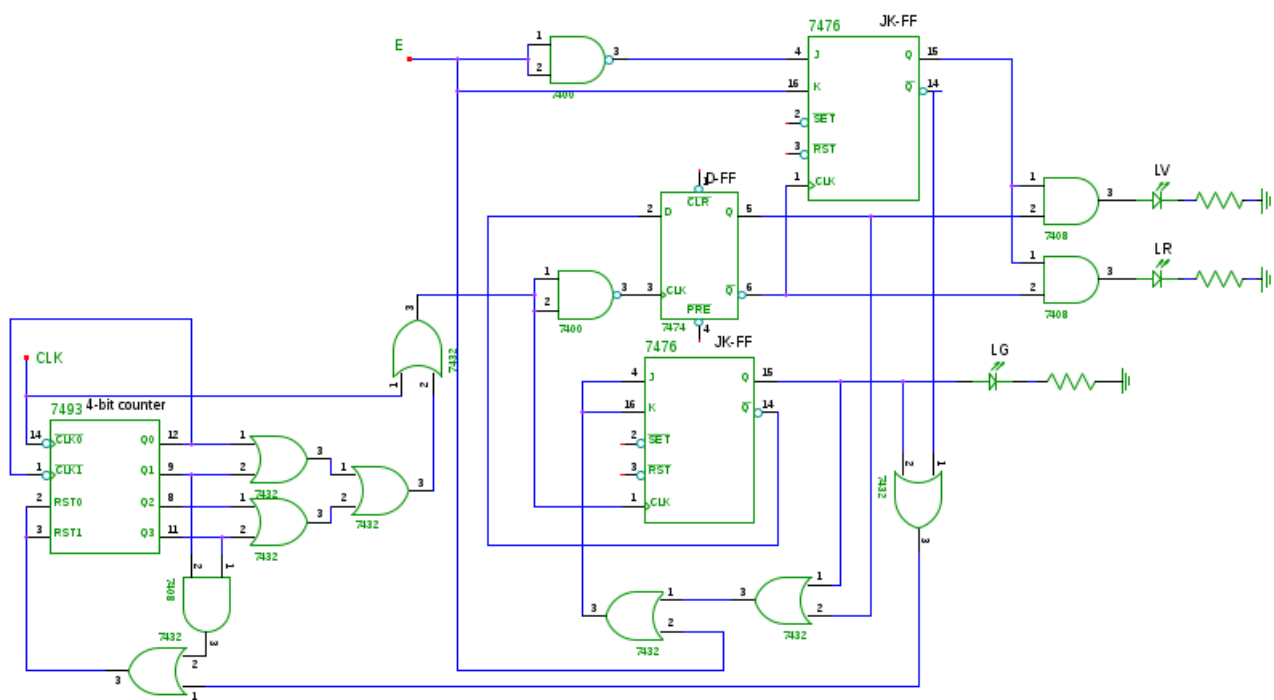


Figura 8: Semaforo reale: schema circuitale.