

Laboratorio di Segnali e Sistemi

- Esercitazione -7 -

Costruzione di un ADC



Claudio Luci
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

last update : 070117

Argomenti dell'esercitazione:

- Costruzione di un ADC:
 - Contatore
 - DAC a pesiera a 4 bit
 - Comparatore d'ingresso
 - Adattore di livello logico

In appendice riportate alcuni grafici/screenshot relativi all'esperienza 6

Il clock è fornito dal generatore (onda quadra tra 0 e 5 V;
potete variare la frequenza)

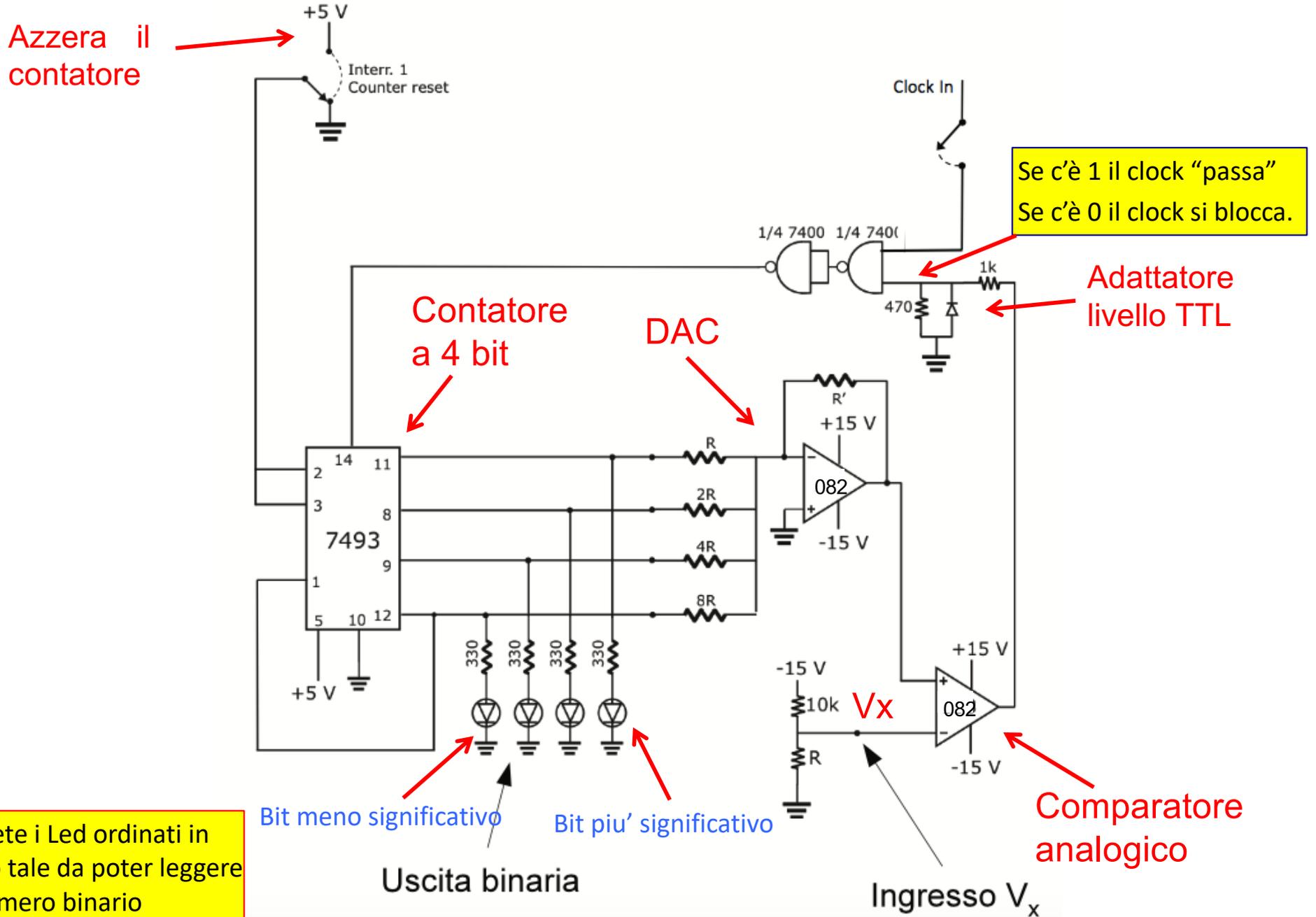
Costruzione dell'ADC

- Questa esercitazione è dedicata alla costruzione di un convertitore analogico-digitale (ADC) a 4 bit, ovvero un dispositivo che riceve in ingresso una tensione V_x e fornisce in uscita un numero binario a 4 bit ad essa proporzionale
- Lo schema complessivo è riportato nella slide successiva in cui si distinguono i vari blocchi funzionali:
 - ❖ Contatore
 - ❖ Comparatore d'ingresso
 - ❖ Convertitore digitale-analogico (DAC) a pesiera
 - ❖ Adattore di livello logico
- La tensione da convertire, V_x , deve essere **negativa** e compresa tra **0 e -5 V**; può essere ottenuta con un partitore a partire dai -15 V dell'alimentazione (in alternativa al partitore si può usare un trimmer).
- L'uscita del comparatore (15 V / -15 V) viene riportata ai livelli logici standard TTL tramite il blocco "adattore di livello logico".
- Convienne realizzare il circuito costruendo un blocco per volta e verificandone man mano il funzionamento. È importante che il montaggio sia effettuato con cura e con un buon ordine.



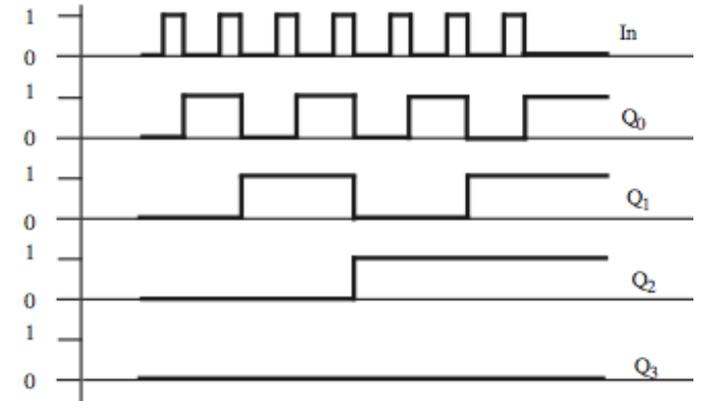
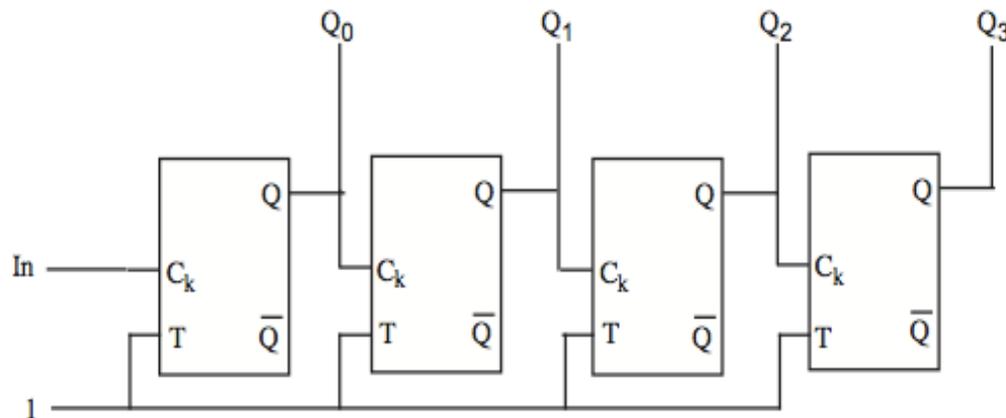
Il trimmer è un potenziometro

Circuito completo dell'ADC



Contatore asincrono

- Si può costruire un contatore binario utilizzando dei flip-flop di tipo T master-slave.
- Tutti gli ingressi vengono posti a 1; gli impulsi da contare entrano nel clock del primo stadio, mentre ogni uscita fornisce il clock allo stadio successivo. Poiché i flip-flop sono master-slave, ogni uscita commuta sul fronte di discesa del clock ricevuto all'ingresso, come si vede in figura, dove abbiamo supposto che inizialmente tutti i flip-flop siano a zero:



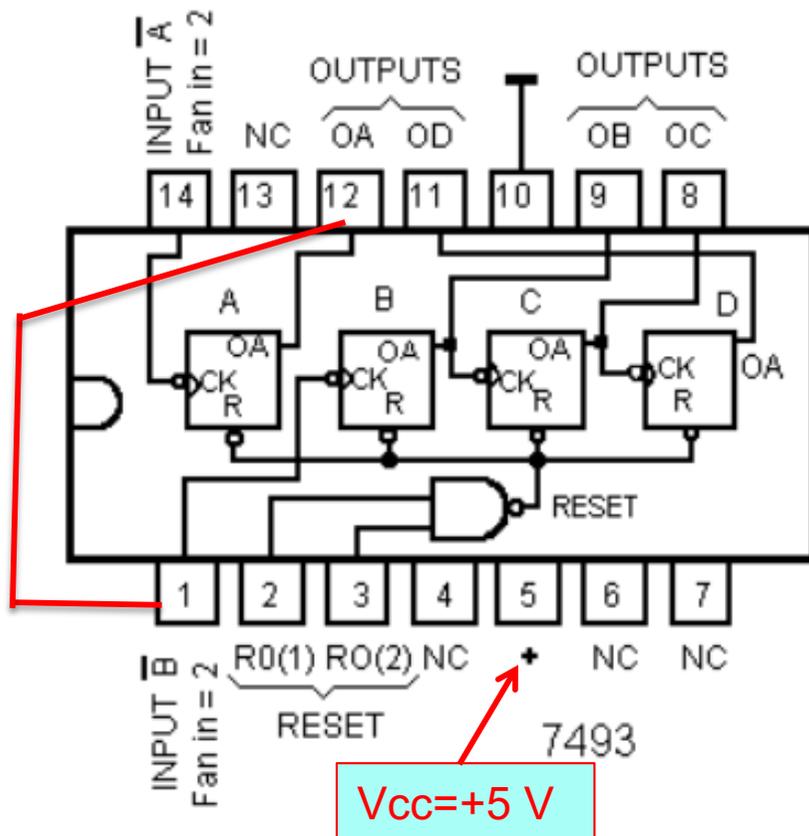
- L'insieme delle uscite costituisce un numero a 4 bit (Q_0 è il bit meno significativo).
- Un contatore a n stadi conta fino a 2^n e poi ricomincia da zero.**
- Si può anche notare come le frequenze di commutazione vengano dimezzate man mano, quindi questo circuito può anche essere usato come un divisore di frequenza, per potenze di due.

Numero di impulsi	Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	1
...				
15	1	1	1	1
16	0	0	0	0

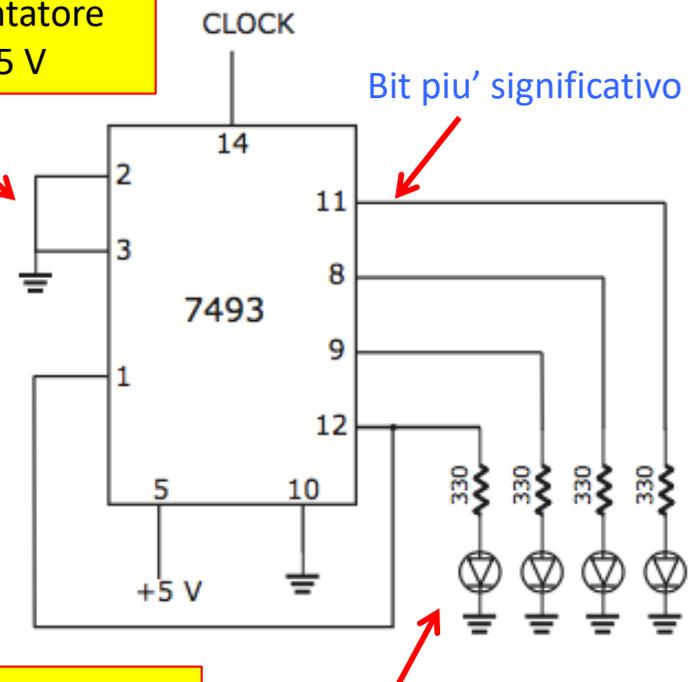
Contatore a 4 bit

Dobbiamo anzitutto costruire il contatore che utilizzeremo per pilotare il DAC. Possiamo utilizzare l'integrato 7493 (Fig. 6.1) montato come suggerito nella Fig.6.2 . Per verificarne il funzionamento inviare all'ingresso di Clock un'onda quadra con ampiezza tra 0 e 5V e frequenza di circa 1 Hz. Si dovrebbe essere in grado di visualizzare la sequenza di accensione dei LED's verificandone la correttezza.

Si noti che, nel momento in cui questa parte viene connessa al circuito completo, esse viene modificata inserendo un opportuno interruttore, connesso alternativamente a 0 e 5V. In questo modo e' possibile azzerare il contatore.

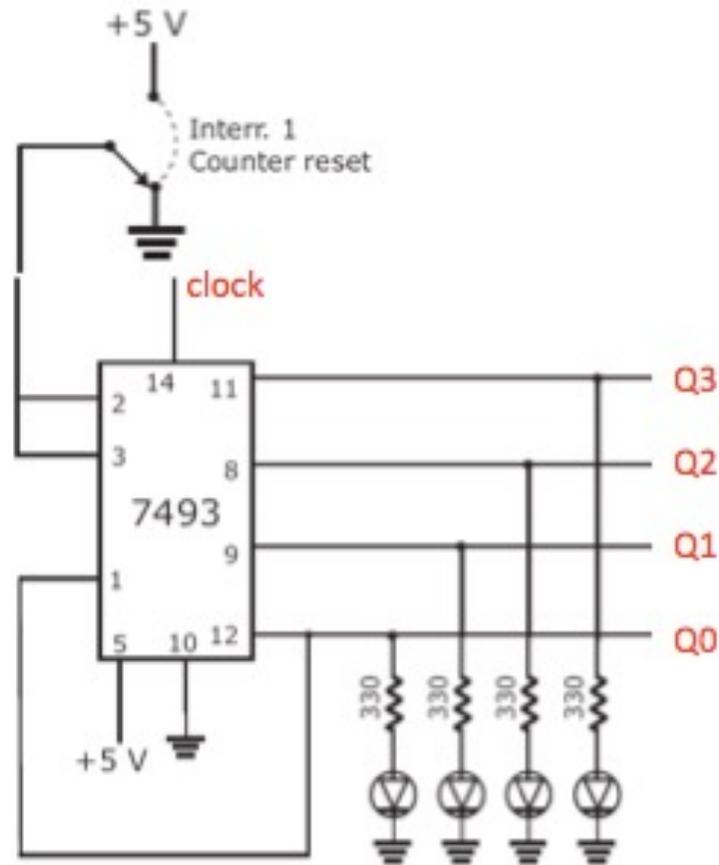


Per azzerare il contatore vanno collegati a 5 V



Invertire l'ordine dei led

Contatore a 4 Bit



Tensioni di uscita del contatore

	0 logico (mV)	1 logico (V)
V_0	203 ± 2	2.98 ± 0.03
V_1	203 ± 2	2.94 ± 0.03
V_2	215 ± 2	2.95 ± 0.03
V_3	168 ± 2	2.93 ± 0.03

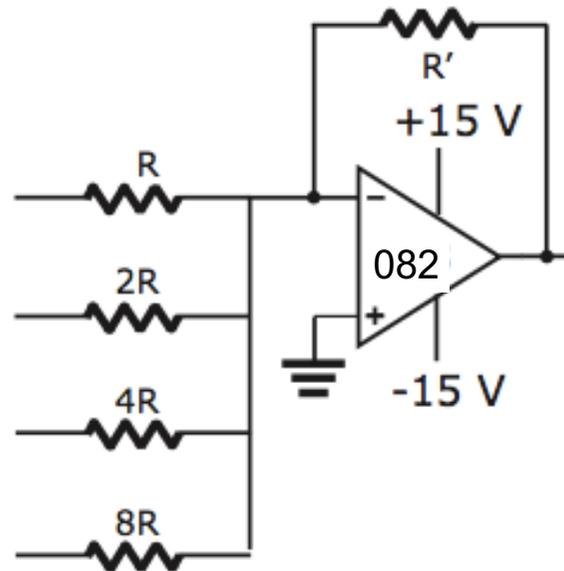
Se avete problemi con il clock "a mano", ad esempio il contatore scatta quando non dovrebbe, provate ad usare il circuito di debouncing

Impostate il numero 0000 agendo sul counter reset e poi il numero 1111 con un clock a "mano". Verificate con il multimetro il valore delle tensioni delle quattro uscite in corrispondenza dello zero logico e dell'uno logico.

In linea di principio le 4 uscite dovrebbero avere gli stessi valori, ma ...

Questi valori vi serviranno per poi verificare la "scala" del DAC.

DAC a 4 bit



Ad esempio

$$R \approx 1 \text{ k}\Omega$$

$$R' \approx 1 \div 1.5 \text{ k}\Omega$$

Costruire un DAC invertente a pesiera, come in figura. La scelta dei valori di R' ed R deve essere effettuata in modo da avere un'uscita compresa nella massima dinamica d'uscita possibile per l'operazionale, tenendo conto che il circuito e' destinato a ricevere agli ingressi livelli logici TTL (0V / +5V). Inoltre i valori delle resistenze devono essere non troppo piccoli, per evitare eccessivi carichi di corrente. Cercate di selezionare i resistori R , $2R$, $4R$ ed $8R$ il piu' possibile vicini ai valori nominali, in modo che la scala dei "pesi" sia ragionevolmente vicina a quella ideale.

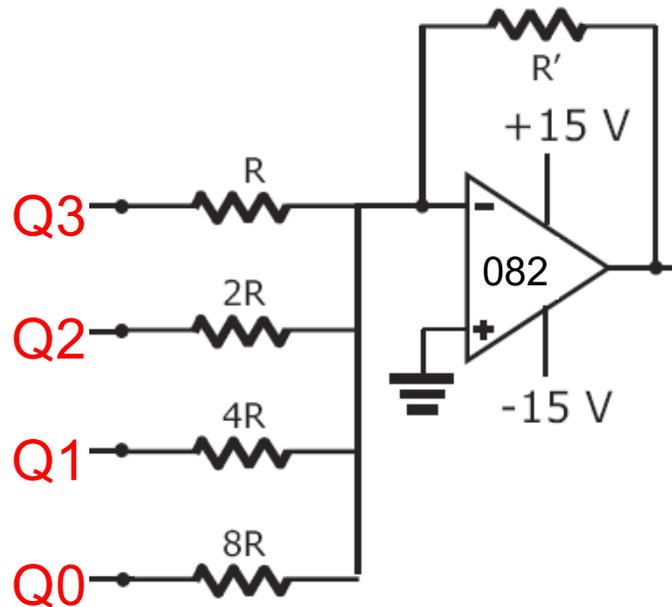
DAC a 4 bit

$$V_3 = 5 \text{ V} \times Q_3$$

$$V_2 = 5 \text{ V} \times Q_2$$

$$V_1 = 5 \text{ V} \times Q_1$$

$$V_0 = 5 \text{ V} \times Q_0$$



$$V_{out} = 5 \times \frac{R'}{8R} \times [Q_0 + 2Q_1 + 4Q_2 + 8Q_3]$$

$$V_{out}^{max} = \left(5 \times \frac{R'}{8R} \times 15 \right) \text{ V}$$

N.B. deve essere minore di 15 V, altrimenti l'op-amp taglia l'uscita



$$\frac{R'}{R} < \frac{8}{5} = 1.6$$

$$\Delta V_{out} = 5 \times \frac{R'}{8R} \text{ V}$$

La tensione d'uscita è quantizzata. L'altezza di un gradino vale

Se si aumenta la sensibilità (cioè si abbassa il gradino), si riduce la tensione di uscita massima.

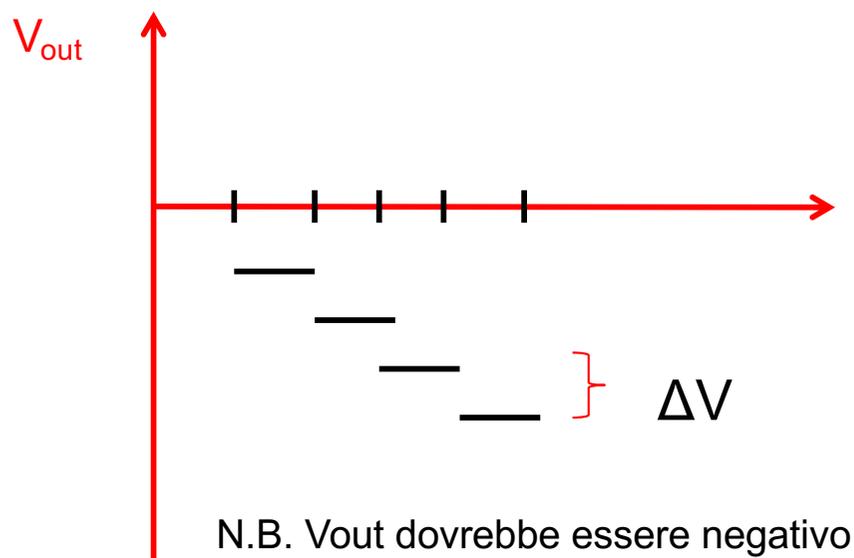
Verifica del circuito

- 1) Collegate tre ingressi a massa e al quarto mandate un valore continuo di 5 V
- 2) Verificate che la tensione d'uscita corrisponda al valore aspettato $V = 5 \times R' / nR$ (dove $n = 1, 2, 4, 8$)

Verifica del DAC e del contatore

Dopo aver verificato il funzionamento del circuito collegate gli ingressi alle uscite del contatore. Inviando ora un clock a frequenza ragionevolmente elevata utilizzando il generatore di funzione (onda quadrata 0-5V) si potrà visualizzare sull'oscillografo l'andamento temporale della tensione d'uscita. Costruite un grafico della tensione d'uscita in funzione del numero contenuto nel contatore e verificate che la relazione sia approssimativamente lineare, confrontando il risultato con l'andamento atteso sulla base dei valori effettivi delle resistenze utilizzate.

Si deve anche tenere conto del fatto che le 4 uscite del contatore non sono in genere esattamente uguali ai valori nominali dello standard TTL. Tipicamente un "1" logico produce uscite dell'ordine di 3 - 3.5 V; inoltre, in alcuni casi, i valori delle uscite non sono stabili, ma variano lievemente al variare del conteggio. Questo si traduce in un "deterioramento" complessivo della qualità del convertitore, che non inficia tuttavia il suo funzionamento.



Scala di calibrazione

- 1) Impostate con un clock "a mano" i numeri da 0 a 15 e leggete i corrispondenti valori della tensione d'uscita
- 2) Costruite una tabella dove per ciascun numero c'è il valor minimo ed il valore massimo della tensione associata ed il centro dell'intervallo (il valore massimo corrisponde al minimo del numero successivo).
- 3) costruite il grafico a lato
- 4) Verificate la linearità del grafico

Verifica del DAC e del contatore

Frequenza del
clock = 300 Hz

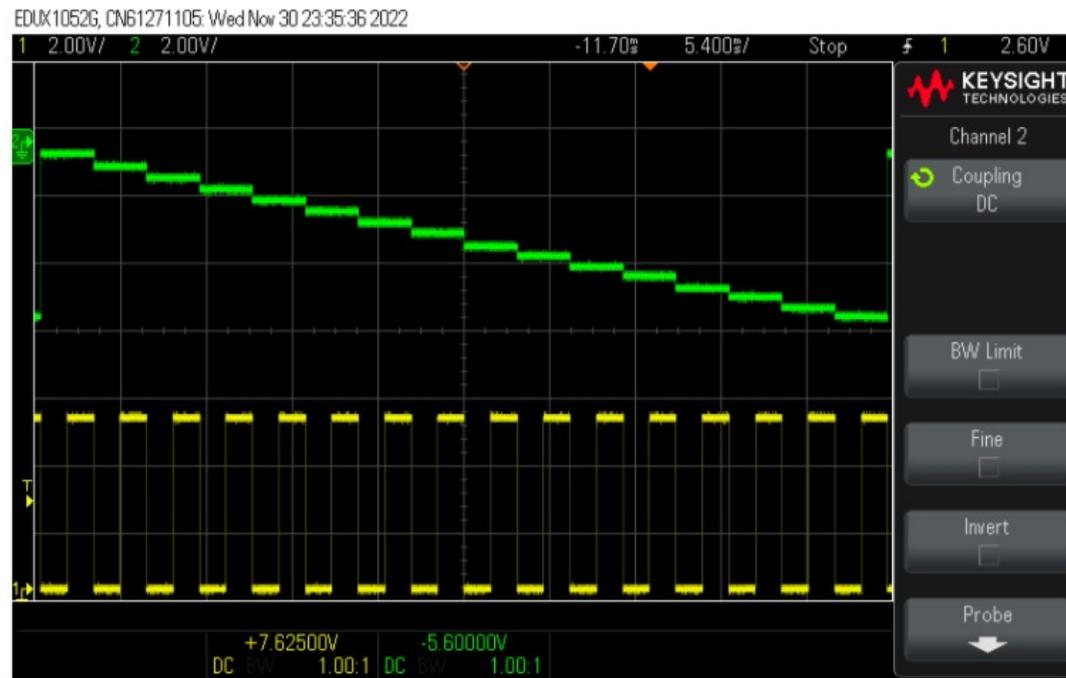


Figura 4: Nella figura è riportato l'andamento temporale dell'uscita del DAC.

Calibrazione del DAC

range (V)	ΔV (V)	valor medio (V)	corrispondente logico
0 ÷ -0.35	0.35	-0.18	0
-0.35 ÷ -0.73	0.38	-0.54	1
-0.73 ÷ -1.07	0.33	-0.90	2
-1.07 ÷ -1.41	0.34	-1.24	3
-1.41 ÷ -1.74	0.33	-1.57	4
-1.74 ÷ -2.06	0.33	-1.90	5
-2.06 ÷ -2.41	0.35	-2.24	6
-2.41 ÷ -2.72	0.31	-2.57	7
-2.72 ÷ -3.10	0.38	-2.91	8
-3.10 ÷ -3.40	0.30	-3.25	9
-3.40 ÷ -3.72	0.32	-3.56	10
-3.72 ÷ -4.00	0.28	-3.86	11
-4.00 ÷ -4.37	0.37	-4.19	12
-4.37 ÷ -4.63	0.26	-4.50	13
-4.63 ÷ -4.96	0.32	-4.79	14
-4.96 ÷ -5.22	0.26	-5.09	15

Tabella 7: In tabella si riportano il valore massimo, minimo e medio delle tensioni in uscita del DAC relativi a ciascun numero logico e l'altezza di ogni gradino ΔV . Si considera un'incertezza strumentale su tutte le misure di tensione dell'1%.

Verifica della linearità del DAC

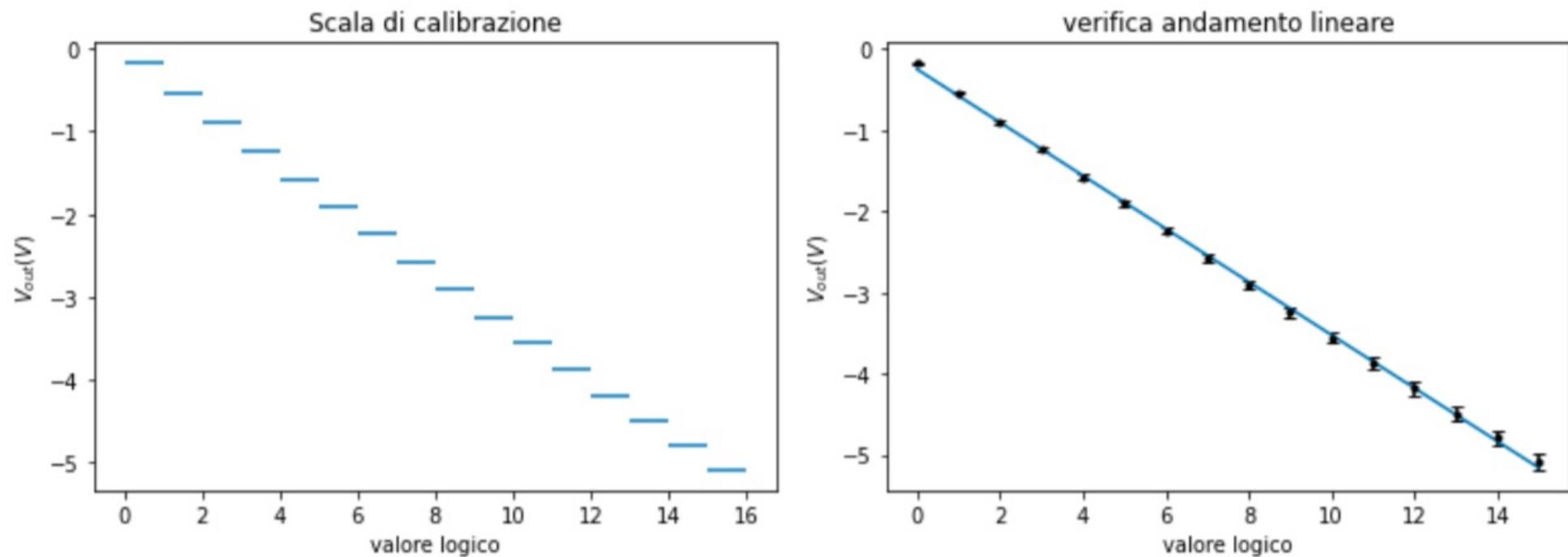
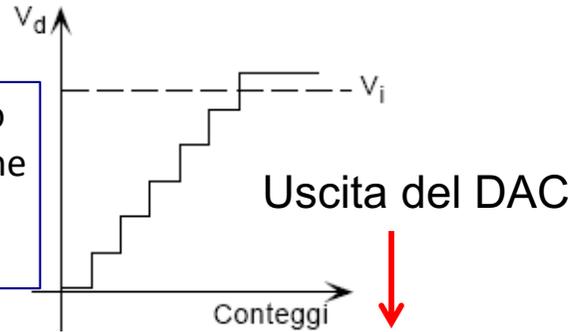


Figura 5: Grafico dei valori medi delle tensioni d'uscita del DAC associate ai corrispettivi valori logici e fit di verifica dell'andamento lineare.

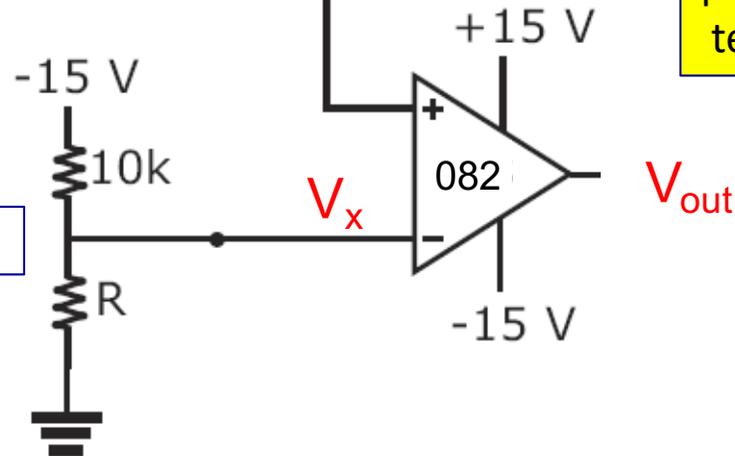
Comparatore analogico

Questo grafico è solo indicativo. La tensione è negativa.



N.B. La massima tensione che si può "comparare" è pari alla massima tensione d'uscita del DAC.

Trimmer per cambiare V_x

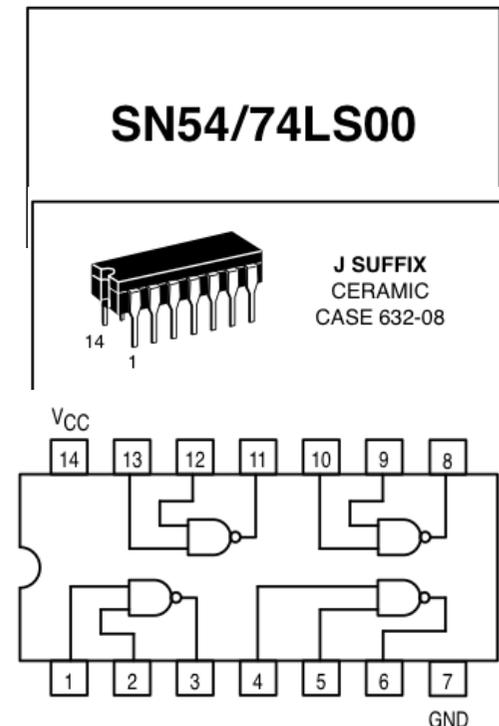
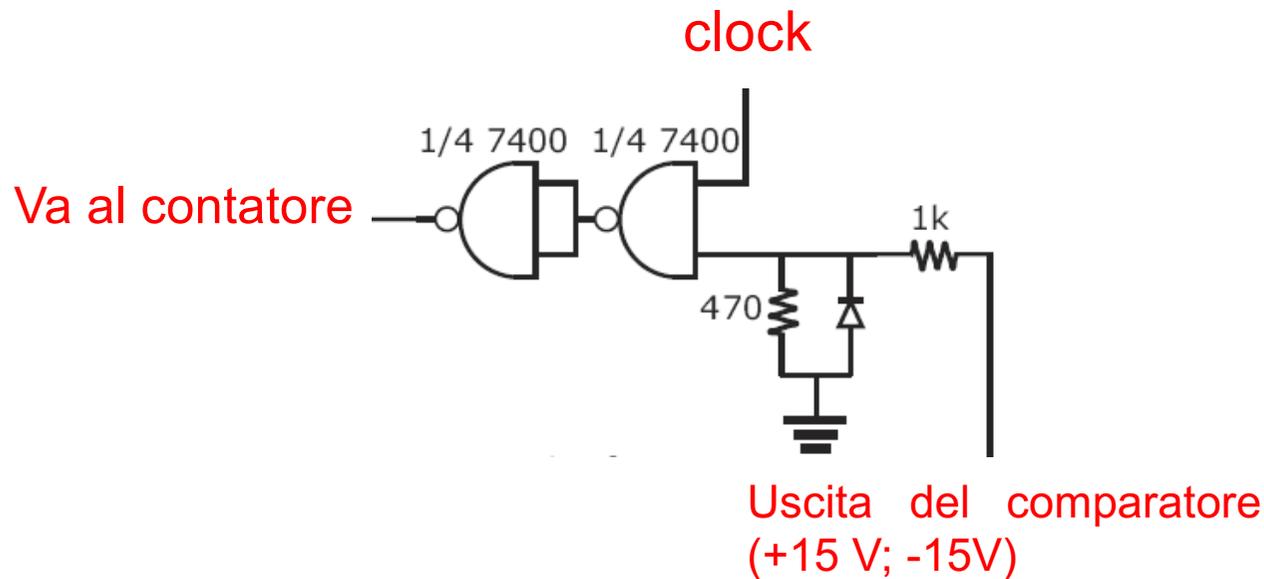


Quando V_x (che è negativo) è minore dell'uscita del DAC (negativa) allora $V_{out} = +15$ V (Inizialmente 0 è maggiore di $-V_x$, quindi l'uscita è a +15 V), poi mano mano l'uscita del DAC diminuisce (diventa sempre più negativa).

Quando l'uscita del DAC diventa minore di V_x , V_{out} commuta e diventa uguale a -15 V. **Questo blocca il contatore.**

(se il ragionamento non è chiaro, usate i moduli delle tensioni e rimpiazzate minore con maggiore)

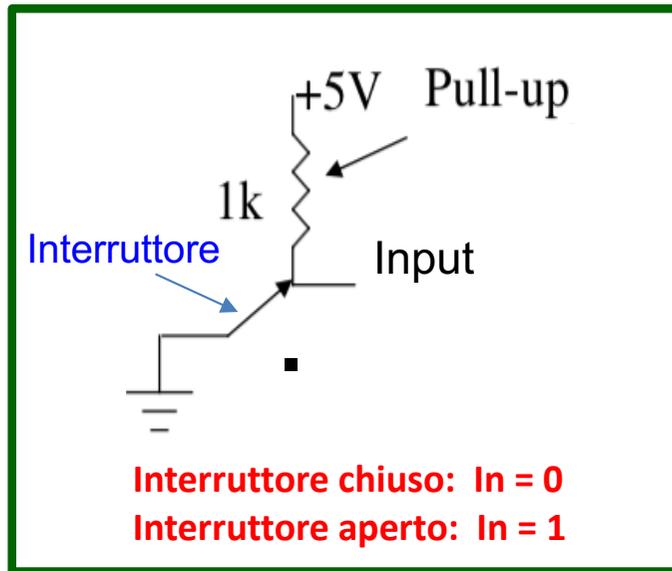
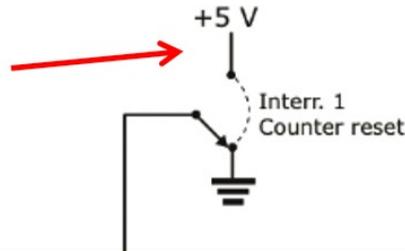
Adattamento livello TTL e stop del clock



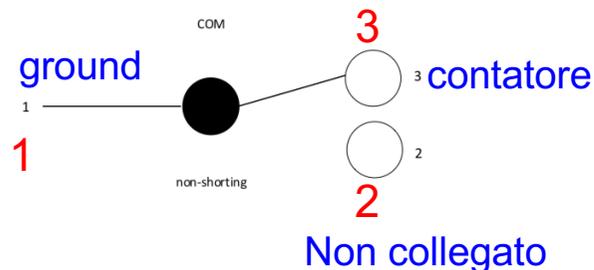
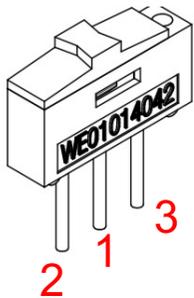
- Il partitore riduce i +15 V a + 5 V.
 - Quando l'uscita è -15 V, il diodo va in conduzione ed il livello di potenziale del catodo diventa di -0.6 V (cioè zero logico).
 - Quando all'ingresso del NAND c'è 1 logico (+5 V), la sua uscita dipende dal valore del clock presente sull'altro ingresso.
 - Quando invece all'ingresso del NAND c'è uno 0 logico, l'uscita del NAND è sempre 1, quindi l'uscita del secondo NAND è sempre 0, qualunque sia il livello logico del clock.
- In questo modo il contatore viene bloccato e sui led rimane il numero corrispondente al valore di tensione che ha fatto scattare il comparatore.

Azzeramento del clock

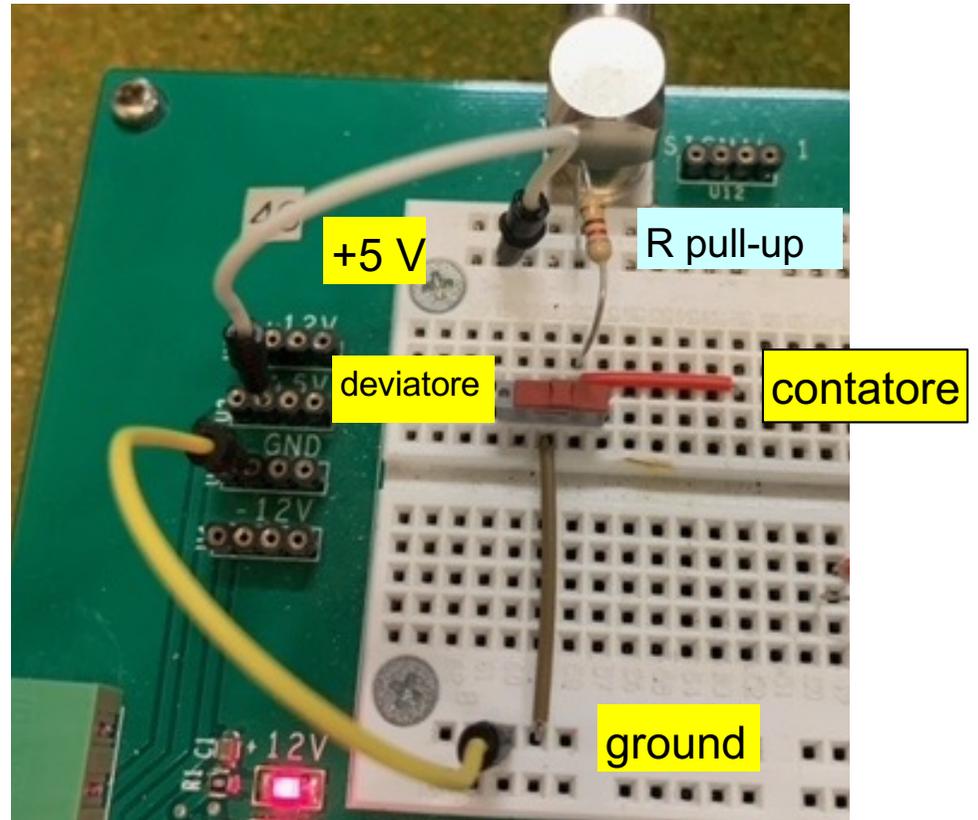
Azzerare il contatore



I pin 2 e 3 sono simmetrici, potete scambiarli senza problemi.



Per fare il “deviatore” non utilizzate un filo volante, ma utilizzare un circuito di pull-up:



il centrale del deviatore va collegato a massa, mentre uno dei “lateral” va collegato alla resistenza di pull-up. L’altro laterale **NON** va collegato.

Circuito completo dell'ADC

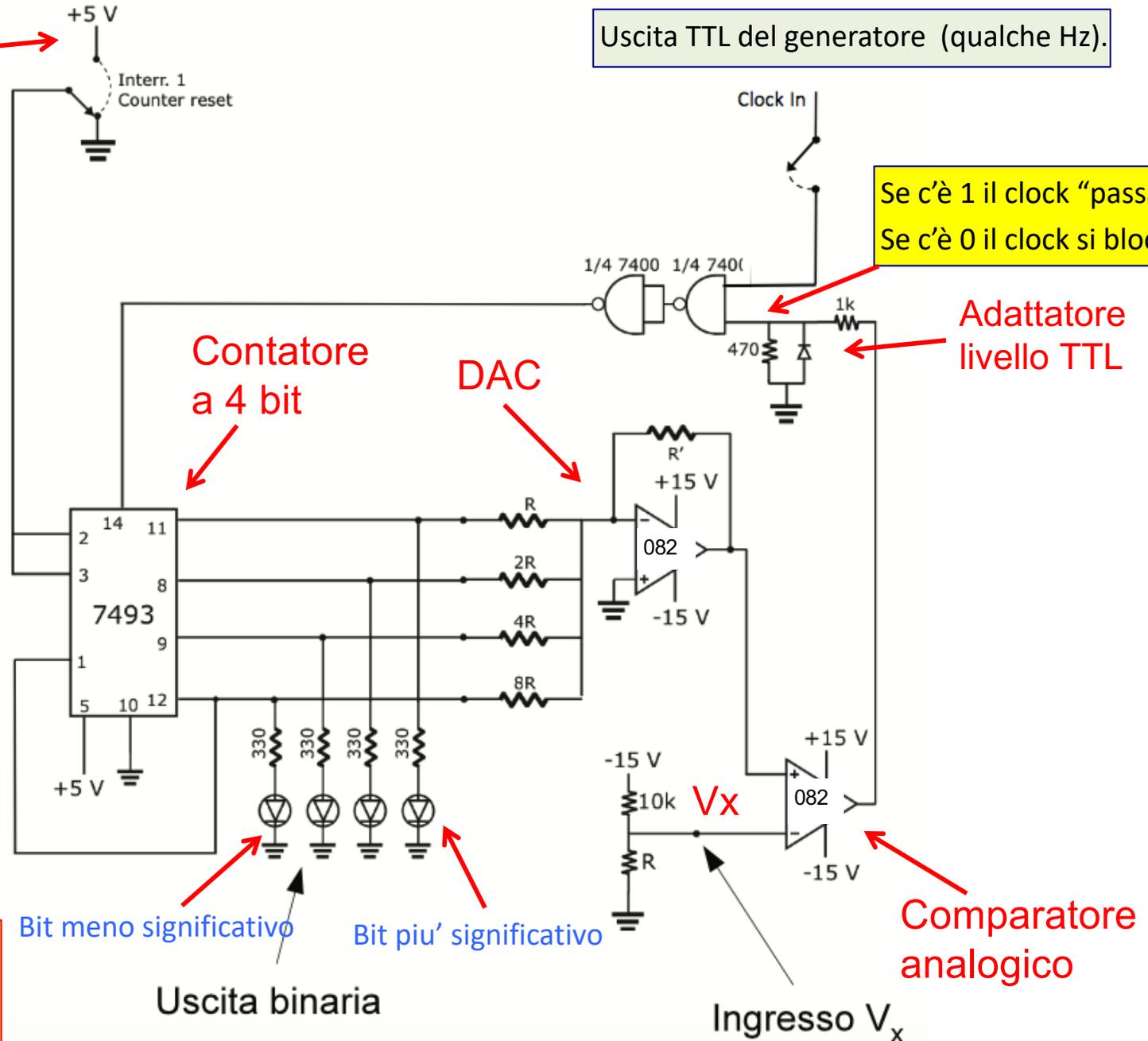
Azzerare il contatore

Uscita TTL del generatore (qualche Hz).

Se c'è 1 il clock "passa"
Se c'è 0 il clock si blocca.

Adattatore livello TTL

- Misure**
- 1) Azzerate il contatore
 - 2) impostate un valore di V_x
 - 3) mettete il reset counter di nuovo a massa
 - 4) leggete il numero impostato sui led
 - 5) verificate se il numero è corretto utilizzando la tabella di calibrazione costruita in precedenza
 - 6) ripetere per altri valori di V_x



Mettete i Led ordinati in modo tale da poter leggere il numero binario

Bit meno significativo Bit piu' significativo

Uscita binaria

Ingresso V_x

Comparatore analogico



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Fine esercitazione 7